

SISTEM PEREDARAN DARAH MANUSIA

SUMIYATI SA'ADAH

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN BIOLOGI
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG
2018**

PENDAHULUAN

Bahan ajar ini berisi paparan materi tentang sistem peredaran darah yang ditujukan untuk mahasiswa. Materi sistem peredaran darah adalah bagian dari materi yang disampaikan pada mata kuliah Anatomi Fisiologi Tubuh Manusia di Program Studi Pendidikan Biologi, dan materi yang juga diajarkan di sekolah menengah, baik sekolah menengah pertama maupun sekolah menengah atas.

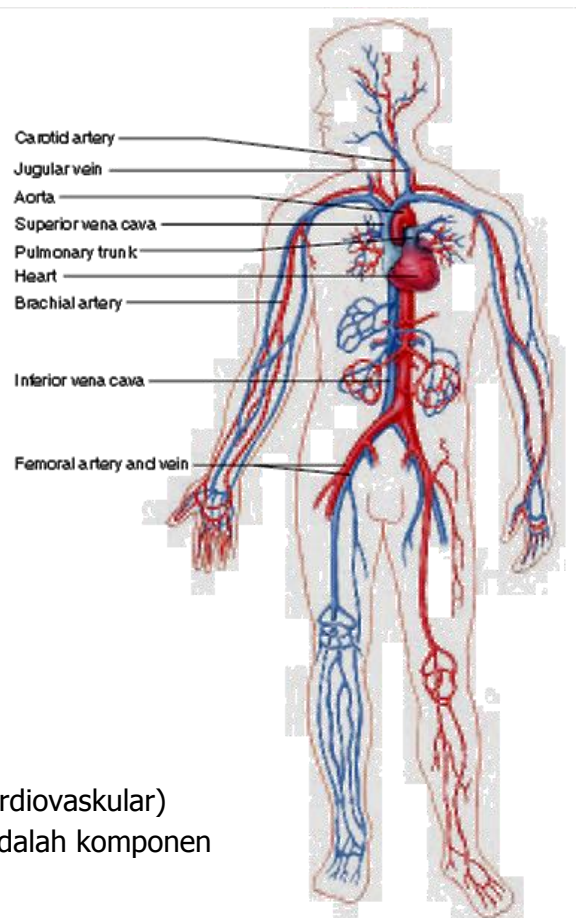
Materi sistem peredaran darah yang dibahas dalam bahan ajar ini materi tentang darah, jantung, dan pembuluh darah. Dalam bahan ajar ini dilengkapi dengan ilustrasi yang diambil dari berbagai buku teks yang diperuntukan untuk perguruan tinggi, korelasi klinis, dan info-info lainnya yang terkait.

Capaian pembelajaran yang diharapkan setelah mempelajari bahan ajar ini adalah diharapkan mahasiswa mampu:

1. Menjelaskan struktur dan fungsi darah
2. Membedakan struktur dan fungsi setiap komponen darah (plasma darah, eritrosit, leukosit, trombosit)
3. Menjelaskan proses homeostasis yang terkait dengan proses pembekuan darah
4. Menjelaskan penggolongan darah
5. Memberikan contoh kelaianan yang terjadi pada sistem peredaran darah
6. Menjelaskan struktur dan fungsi jantung
7. Menjelaskan siklus jantung
8. Menjelaskan struktur dan fungsi pembuluh darah
9. membedakan pembuluh darah arteri, vena dan kapiler
10. menjelaskan aliran darah
11. menjelaskan tekanan darah

SISTEM PEREDARAN DARAH

Sistem sirkulasi dibangun oleh darah, sebagai medium transportasi tempat bahan-bahan yg akan disalurkan dilarutkan atau diendapkan, pembuluh darah yang berfungsi sebagai saluran untuk mengarahkan dan mendistribusikan darah dari jantung ke seluruh tubuh dan mengembalikannya ke jantung, dan jantung yang berfungsi memompa darah agar mengalir ke seluruh jaringan.



Gambar 1. Sistem Peredaran darah (Kardiovaskular)
Jantung, darah, dan pembuluh darah adalah komponen utama dari sistem kardiovaskular.

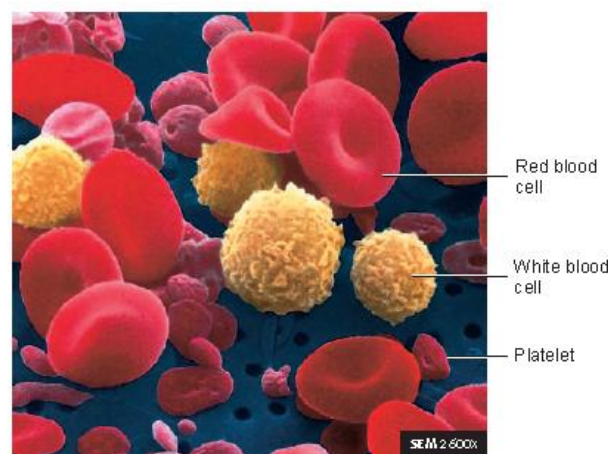
Marieb (2001)

Sistem sirkulasi berperan dalam homeostatis dengan berfungsi sebagai sistem transportasi tubuh dengan mengangkut oksigen, karbondioksida, zat-zat sisa, elektrolit, nutrisi dan hormon dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain. Bagaimanakah sistem ini bekerja? Berikut ini akan dipaparkan hal-hal yang terkait dengan sistem peredaran darah pada manusia.

A. DARAH

Secara historis, banyak budaya di seluruh dunia, baik kuno dan modern, meyakini kemagisan darah. Darah dianggap sebagai "esensi kehidupan" karena hilangnya darah yang tidak terkendali dapat mengakibatkan kematian. Dari zaman dahulu, orang telah melihat darah sebagai penyebab adanya kehidupan. Gladiator Romawi meminum darah karena menganggap darah memiliki kekuatan vital yang bisa membentengi diri dari pertempuran. Darah juga dikaitkan dalam menentukan karakter dan emosi. Orang dari keturunan bangsawan digambarkan sebagai "darah biru," sedangkan penjahat dianggap memiliki darah "buruk". Dikatakan juga bahwa kemarahan menyebabkan darah "mendidih". Bahkan saat ini, kita menjadi khawatir ketika kita menemukan diri kita berdarah, dan dampak emosional dari darah sudah cukup untuk membuat banyak orang pingsan saat melihatnya.

Darah melakukan banyak fungsi penting untuk kehidupan dan dapat mengungkapkan banyak tentang kesehatan kita. Darah adalah jenis jaringan ikat, terdiri atas sel-sel (eritrosit, leukosit, dan trombosit) yang terendam pada cairan kompleks plasma (gambar 1). Darah membentuk sekitar 8% dari berat total tubuh. Pergerakan konstan darah sewaktu mengalir dalam pembuluh darah menyebabkan unsur-unsur sel tersebar merata di dalam plasma. Di bawah ini akan dipaparkan tentang darah meliputi, fungsi darah, komposisi darah (plasma, sel darah), proses pembekuan darah, penggolongan darah, kelainan pada darah.



Seeley, *et al.* (2007)

Gambar 2. Komponen Darah

1. FUNGSI DAN KOMPOSISI DARAH

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Menjelaskan fungsi darah
- Menjelaskan komposisi darah

a. Fungsi Darah

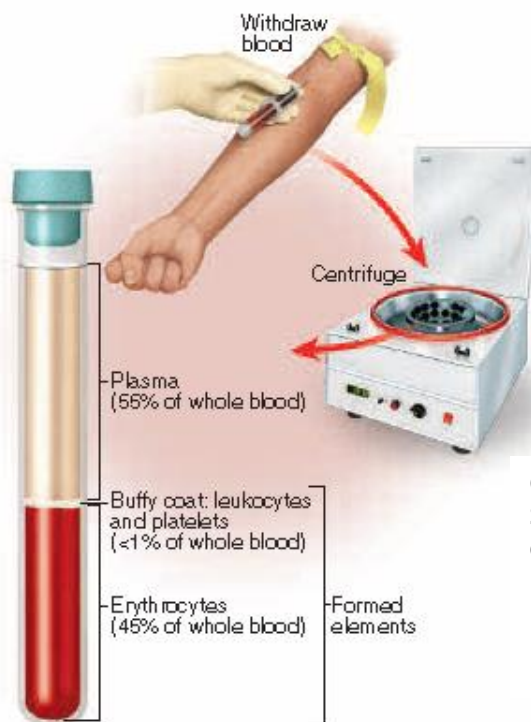
Fungsi darah masuk ke dalam tiga kategori, yaitu transportasi, pertahanan, dan regulasi, yang akan dibahas berikut ini.

- 1) Darah adalah media transportasi utama yang mengangkut gas, nutrisi dan produk limbah. Oksigen dari paru-paru diangkut darah dan didistribusikan ke sel-sel. Karbondioksida yang dihasilkan oleh sel-sel diangkut ke paru-paru untuk dibuang setiap kali kita menghembuskan nafas. Darah juga mengangkut produk-produk limbah lain, seperti kelebihan nitrogen yang dibawa ke ginjal untuk dieliminasi. Selain itu, darah mengambil nutrisi dari saluran pencernaan untuk dikirimkan ke sel-sel. Selain transportasi nutrisi dan limbah, darah mengangkut hormon yang disekresikan berbagai organ ke dalam pembuluh darah untuk disampaikan ke jaringan. Banyak zat yang diproduksi di salah satu bagian tubuh dan diangkut ke bagian yang lain, untuk dimodifikasi. Sebagai contoh, prekursor vitamin D diproduksi di kulit dan diangkut oleh darah ke hati dan kemudian ke ginjal untuk diproses menjadi vitamin D aktif. Vitamin D aktif diangkut darah ke usus kecil, untuk membantu penyerapan kalsium. Contoh lain adalah asam laktat yang dihasilkan oleh otot rangka selama respirasi anaerob. Darah membawa asam laktat ke hati yang akan diubah menjadi glukosa.
- 2) Darah berperan dalam menjaga pertahanan tubuh dari invasi patogen dan menjaga dari kehilangan darah. Sel darah putih tertentu mampu menghancurkan patogen dengan cara fagositosis. Sel darah putih lainnya memproduksi dan mengeluarkan antibodi. Antibodi adalah protein yang akan bergabung dengan patogen tertentu untuk dinonaktifkan. Patogen yang dinonaktifkan kemudian dihancurkan oleh sel-sel darah putih fagosit. Ketika terjadi cedera, terjadi pembekuan darah sehingga menjaga terhadap kehilangan darah. Pembekuan darah melibatkan trombosit dan beberapa protein seperti trombin dan fibrinogen. Tanpa pembekuan darah, kita bisa mati kehabisan darah sekalipun dari luka yang kecil.
- 3) Darah memiliki fungsi regulasi dan memainkan peran penting dalam homeostasis. Darah membantu mengatur suhu tubuh dengan mengambil panas, sebagian besar

dari otot yang aktif, dan dibawa seluruh tubuh. Jika tubuh terlalu hangat, darah diangkut ke pembuluh darah yang melebar di kulit. Panas akan menyebar ke lingkungan, dan tubuh mendingin kembali ke suhu normal. Bagian cair dari darah (plasma), mengandung garam terlarut dan protein. Zat terlarut ini menciptakan tekanan osmotik darah. Dengan cara ini, darah berperan dalam membantu menjaga keseimbangan. Buffer darah (bahan kimia tubuh yang menstabilkan pH darah), mengatur keseimbangan asam-basa tubuh dan tetap pada pH yang relatif konstan yaitu 7,4.

b. Komposisi Darah

Darah adalah jaringan, dan, seperti jaringan apapun, mengandung sel dan fragmen sel. Secara kolektif, sel-sel dan fragmen sel disebut elemen padat. Sel dan fragmen sel tersuspensi dalam cairan yang disebut plasma. Oleh karena itu, darah diklasifikasikan sebagai jaringan ikat cair. Gambar 3 berikut menggambarkan komposisi darah setelah darah disentrifugasi.



Gambar 3. Komposisi Darah.

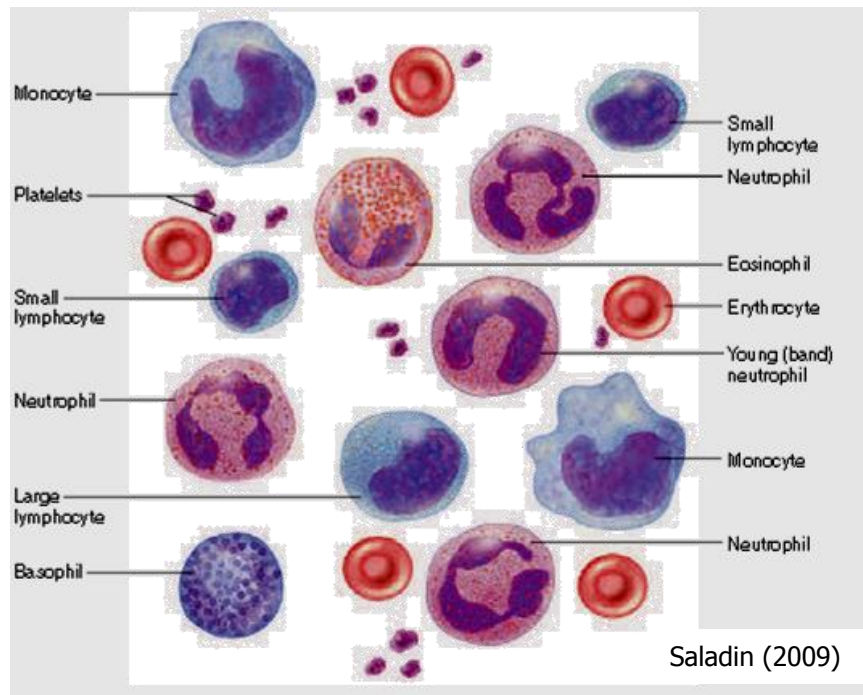
Sentrifugasi sampel darah memisahkan eritrosit dari leukosit, trombosit (*buffy coat*) dan plasma.

Hematokrit adalah persentase darah yang mengandung oleh sel darah merah, berdasarkan contoh hematokritnya adalah 45%

Saladin (2009)

Elemen padat pada darah adalah sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan keping darah (trombosit) (Gambar 4). Bagian ini diproduksi di sumsum

tulang merah, yang dapat ditemukan di sebagian besar tulang anak tetapi hanya dalam tulang tertentu pada orang dewasa.



Gambar 4. Elemen padat darah.

Berdasarkan gambar tersebut apakah yang tidak dimiliki oleh eritrosit dan trombosit (platelet) jika dibandingkan dengan yang lainnya?

UJI KEMAMPUANMU

1. Bagaimanakah darah dapat mengatur suhu tubuh, tekanan osmosis, dan pH tubuh?
2. Jelaskan mengapa darah termasuk ke dalam jaringan ikat!

2. PLASMA

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Menjelaskan komponen-komponen yang terdapat dalam plasma darah
- Mendeskripsikan fungsi dari protein plasma

Jika sampel darah disentrifugasi, terlihat pada bagian teratas cairan berwarna kuning pucat yang volumenya sekitar 55% dari volume total. Cairan tersebut dinamakan plasma. Plasma adalah media transportasi bagi sel-sel darah dan trombosit. Sekitar 90%

dari plasma adalah air. Sisanya bagian yang terlarut meliputi protein, hormon, dan lebih dari 100 molekul berukuran kecil (termasuk asam amino, lemak, karbohidrat kecil, vitamin, dan berbagai produk limbah metabolisme), dan ion.

KORELASI KLINIS

Edema

Edema adalah penimbunan cairan secara berlebihan di antara sel-sel tubuh atau di dalam berbagai rongga tubuh. Edema dapat disebabkan oleh kekurangan protein plasma.

Penurunan konsentrasi protein plasma dapat menyebabkan penurunan tekanan osmotik plasma. Penurunan ini menyebabkan filtrasi cairan yang keluar dari pembuluh lebih tinggi, sementara jumlah cairan yang direabsorpsi kurang dari normal, dengan demikian terdapat cairan tambahan yang tertinggal di ruang-ruang interstisium yang disebut edema.

Edema yang disebabkan oleh penurunan konsentrasi protein plasma dapat terjadi melalui beberapa cara, yaitu pengeluaran berlebihan protein plasma di urin akibat penyakit ginjal; penurunan sintesis protein plasma akibat penyakit hati (hati mensintesis hampir semua protein plasma); makanan yang kurang mengandung protein; atau pengeluaran protein akibat luka bakar yang luas.

Kelompok terbesar zat terlarut dalam plasma terdiri dari protein plasma, yang melayani berbagai fungsi. Protein plasma penting adalah albumin, globulin, dan protein pembekuan (fibrinogen). Hampir dua pertiga dari protein plasma adalah albumin, yang terutama berfungsi untuk menjaga keseimbangan air agar sesuai antara darah dan cairan interstitial. Diproduksi di hati, Albumin juga mengikat molekul tertentu (seperti bilirubin dan asam lemak) dan obat-obatan (seperti penisilin) dan membantu transportasi mereka dalam darah.

Globulin (alpha, beta, dan gamma) adalah kelompok protein yang mengangkut berbagai zat dalam darah. Banyak beta globulin mengikat lipid (lemak) molekul, seperti kolesterol. Ketika protein menempel ke salah satu molekul-molekul ini, menciptakan sebuah kompleks yang disebut lipoprotein. Dua lipoprotein penting adalah *low-density lipoprotein* (LDL) dan *high-density lipoprotein* (HDL). LDL kadang-kadang disebut "kolesterol jahat", karena jika kadarnya dalam darah tinggi dikaitkan dengan peningkatan risiko masalah kesehatan jantung. Tingginya kadar HDL sering menunjukkan risiko lebih rendah terhadap penyakit kardiovaskular. Gamma globulin berfungsi sebagai bagian dari sistem pertahanan tubuh, membantu melindungi terhadap infeksi dan penyakit.

Protein pembekuan seperti fibrinogen, memainkan peran penting dalam proses pembekuan

darah. Pembekuan darah meminimalkan kehilangan darah dan membantu mempertahankan homeostasis setelah cedera.

Selain protein plasma, plasma mengangkut berbagai molekul lain, termasuk ion (juga disebut elektrolit), hormon, nutrisi, produk-produk limbah, dan gas. Elektrolit

seperti natrium dan kalium berkontribusi pada pengendalian fungsi sel dan volume sel. Hormon yang dikeluarkan kelenjar endokrin, mengangkut informasi ke seluruh tubuh. Nutrisi seperti karbohidrat, asam amino, vitamin, dan zat-zat lain yang diserap dari saluran pencernaan atau diproduksi oleh reaksi metabolisme sel. Produk limbah dalam plasma termasuk karbon dioksida, urea, dan asam laktat. Gas terlarut dalam plasma adalah oksigen yang penting untuk metabolisme dan karbondioksida yang merupakan produk sisa metabolisme.

Tabel 1. Komposisi Plasma dan fungsinya

KOMPONEN PLASMA	FUNGSI
Air	Sebagai pelarut dan media suspensi bagi komponen darah
Protein plasma	
Albumin	Turut bertanggung jawab terhadap viskositas darah dan tekanan osmotik; bertindak sebagai penyangga; mengangkut asam lemak, bilirubin bebas, dan hormon tiroid
Globulin	
Alpha	Melindungi jaringan dari kerusakan oleh peradangan (<i>alpha-1 antitrypsin</i>); mengangkut hormon tiroid (<i>thyroid-binding globulin</i>), kortisol (<i>transcortin</i>), dan testosteron dan estrogen (<i>hormone-binding globulin</i>); mengangkut lipid (misalnya, kolesterol dalam HDL); mengkonversi besi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} ; mengangkut hemoglobin yang dilepaskan dari sel-sel darah merah yang rusak.
Beta	Mengangkut besi (<i>transferin</i>), mengangkut lipid (<i>beta lipoprotein</i>) terutama kolesterol dalam LDL; terlibat dalam imunitas (sebagai pelengkap)
Gama	Terlibat dalam imunitas (sebagian besar antibodi adalah gama globulin, tetapi beberapa alpha dan beta globulin)
Fibrinogen	Pembekuan darah
Ion	
Sodium, potassium, kalsium, magnesium, klorida, besi, fosfat, hidrogen, hidroksida, bikarbonat	Terlibat dalam osmosis, potensial membran, dan keseimbangan asam-basa
Nutrisi	
Glukosa, asam amino, trogliserol, kolesterol	Sumber energi, membangun molekul kompleks
Vitamin	Meningkatkan aktivitas enzim
Produk limbah	
Urea, asam urta, kreatinin, amonia, garam	Produk pemecahan metabolisme protein; diekskresikan oleh ginjal
Bilirubin	Produk pemecahan sel darah merah; diekskresikan dari empedu ke usus

Asam laktat	Produk respirasi anaerobik, dikonversi menjadi gula di hati
Gas	
Oksigen	Penting untuk respirasi aerobik, terminal akseptor elektron dalam rantai transpor elektron
Karbon dioksida	Produk sisa pernapasan aerobik; sebagai bikarbonat dapat menyangga darah
Nitrogen	Tidak bereaksi (inert)
Substansi pengatur	Mengkatalisis reaksi enzimatik; merangsang atau menghambat fungsi hormon

(Seleey, *et al.*, 2007)**UJI KEMAMPUANMU**

1. Apakah yang dimaksud dengan plasma?
2. Komponen-komponen apakah yang terdapat dalam plasma?
3. Apakah fungsi dari albumin, globulin dan fibrinogen?
4. Apakah yang terjadi jika tubuh kekurangan protein plasma?

3. SEL DARAH MERAH (ERITROSIT)**Capaian Pembelajaran**

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Mendeskripsikan struktur dan fungsi eritrosit
- Menjelaskan peran haemoglobin dalam pengangkutan gas
- Menjelaskan siklus hidup eritrosit
- Memberikan contoh kelainan pada eritrosit

Sel-sel darah yang paling banyak adalah sel-sel darah merah atau eritrosit dengan persentase sekitar 99,9% dari seluruh elemen padat darah. Dalam darah, jumlah eritrosit sekitar 700 kali lebih banyak dibandingkan sel-sel darah putih (leukosit) dan 17 kali lebih banyak dari keping darah (trombosit).

Setiap laki-laki dewasa dalam 1 mikroliter atau 1 milimeter kubik (mm^3) darahnya mengandung sekitar 4,5 – 6,3 juta eritrosit, sedangkan perempuan dewasa mengandung 4,2 – 5,5 juta eritrosit. Jumlah eritrosit yang lebih tinggi pada laki-laki karena laki-laki memiliki tingkat metabolisme yang lebih tinggi daripada perempuan, dan konsentrasi eritrosit yang lebih besar diperlukan untuk menyediakan oksigen yang dibutuhkan untuk metabolisme sel-sel.

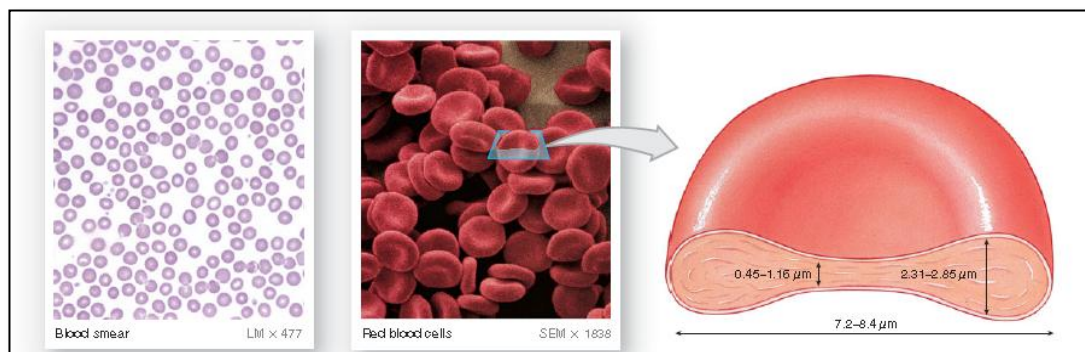
Setetes darah mengandung sekitar 260 juta eritrosit, dan rata-rata darah orang dewasa mengandung 25 triliun eritrosit. Jumlah eritrosit sekitar sepertiga dari keseluruhan jumlah sel yang terdapat dalam tubuh manusia.

Struktur

Eritrosit yang normal berbentuk cakram atau piringan yang di bagian tengah kedua sisinya mencekung (bikonkaf), dengan diameter sekitar 7,5 μm . Bentuk bikonkaf memberikan keuntungan yaitu menjadikan eritrosit memiliki permukaan yang lebih luas bagi difusi oksigen, dibandingkan dengan bentuk bulat datar dengan ukuran yang sama, dan membuat pergerakan gas ke dalam dan ke luar sel berlangsung lebih cepat. Selain itu eritrosit juga bersifat fleksibel sehingga memungkinkan eritrosit berjalan melalui kapiler yang sempit dan berkelok-kelok untuk menyampaikan oksigen ke jaringan tanpa mengalami kerusakan. Diameter eritrosit dalam keadaan normal 7,5 – 8 μm mampu mengalami deformasi pada saat melalui kapiler yang bahkan berdiameter 3 μm . Eritrosit tidak memiliki inti atau organel yang lain. Sepertiga isi eritrosit adalah haemoglobin (pigmen merah). Kandungan haemoglobin dalam eritrosit inilah yang menjadikan darah berwarna merah. Dalam satu eritrosit mengandung sekitar 280 juta molekul haemoglobin. Isi sel darah merah lainnya termasuk lipid, *adenosin trifosfat* (ATP), dan enzim karbonat anhidrase.

TAHUKAN ANDA?

Konsentrasi eritrosit lebih tinggi pada orang yang tinggal di dataran tinggi karena berkurangnya tekanan atmosfer dan konsentrasi oksigen. Hal ini akan mengurangi tingkat oksigen yang masuk ke dalam darah, menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen dalam darah, yang pada gilirannya, merangsang produksi eritrosit.



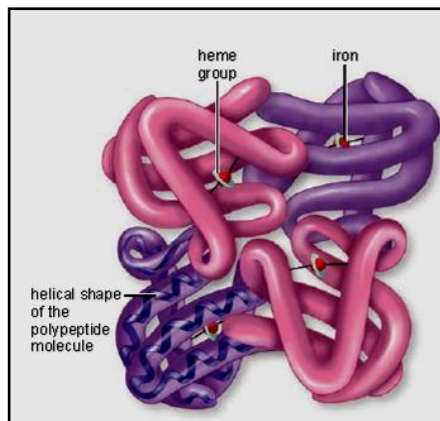
Martini *et al.* (2012)

Gambar 5. Struktur Eritrosit

Eritrosit memiliki dua fungsi utama, yaitu mengangkut oksigen dari paru-paru dan mengendarkannya ke jaringan yang lain. Eritrosit juga mengangkut karbondioksida dari jaringan untuk dibawa ke paru-paru. Pengangkutan gas dalam eritrosit dilakukan oleh haemoglobin.

Haemoglobin

Haemoglobin terdiri atas dua bagian, yaitu globin suatu protein polipeptida yang sangat berlipat-lipat. Gugus nitrogenosa non protein mengandung besi yang dikenal sebagai hem (heme) yang masing-masing terikat pada satu polipeptida. Setiap atom besi dapat berikatan secara reversibel dengan satu molekul oksigen. Dengan demikian setiap molekul haemoglobin dapat mengangkut empat oksigen. Karena oksigen kurang larut dalam darah, 98,5% oksigen yang diangkut dalam darah terikat pada Hb.



Gambar 6. Molekul Haemoglobin

Mader & Windelspecht (2011)

Ketika darah mengalir melalui paru-paru, oksigen berdifusi dari ruang udara di paru-paru ke dalam darah. Oksigen memasuki eritrosit dan bergabung dengan hemoglobin membentuk oksihemoglobin (HbO_2), yang memberikan warna merah terang untuk darah. Setelah melepas oksigen dari oksihemoglobin ke sel-sel tubuh, darah yang telah melepaskan oksigennya (deoxyhemoglobin) dan membawa sejumlah kecil karbondioksida dari sel-sel tubuh kembali ke paru-paru untuk melepaskan karbondioksida. Deoxyhemoglobin memberikan warna merah gelap (rona kebiruan) untuk darah.

Selain mengangkut oksigen, Hb dapat berikatan dengan karbondioksida. Bagian ion hidrogen asam (H^+) dari asam karbonat yang terionisasi yang dibentuk dari CO_2 pada tingkat jaringan. Enzim karbonat anhidrase berperan penting dalam mengangkut CO_2 . Enzim ini mengkatalis reaksi kunci yang akhirnya menyebabkan perubahan CO_2 hasil

metabolisme menjadi ion bikarbonat (HCO_3^-) yaitu bentuk utama transportasi CO_2 dalam darah. Dengan demikian eritrosit ikut serta dalam pengangkutan CO_2 melalui 2 cara melalui Hb dan konversi ke HCO_3^- oleh karbonat anhidrase. Hb juga dapat mengikat karbonmonoksida membentuk karboksiaemoglobin, gas yang dalam keadaan normal tidak terdapat dalam darah tetapi jika terhirup menempati tempat pengikatan O_2 di Hb sehingga dapat menyebabkan keracunan karbonmonoksida.

Siklus hidup Eritrosit

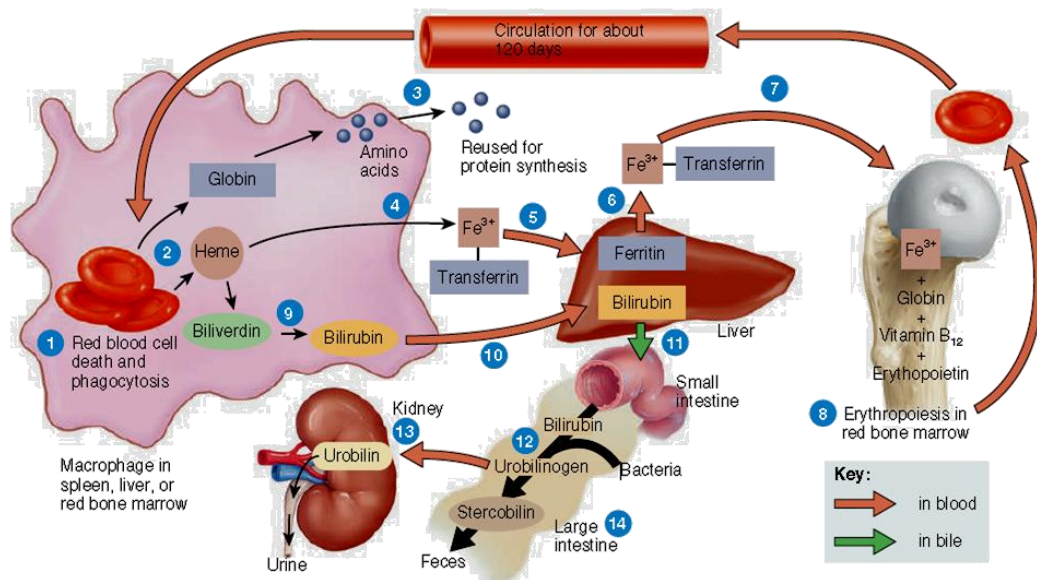
Umur eritrosit pendek, tanpa DNA dan RNA, eritrosit tidak dapat membentuk protein untuk memperbaiki sel, pertumbuhan, pembelahan dan memperbaharui pasokan enzim. Usia eritrosit hanya mampu bertahan selama 120 hari. Selama rentang waktu 4 bulan, eritrosit pengembara sekitar 700 mil ketika bersirkulasi melalui pembuluh darah. Seiring dengan penuaan eritrosit, membran plasmanya tidak dapat diperbaharui menjadi rapuh dan rentan, serta mengalami kerusakan ketika masuk ke dalam sistem pembuluh sempit. Sebagian besar eritrosit mengakhiri hidupnya di limfa, karena jaringan kapilernya sempit dan berbelit-belit. Selain menghancurkan eritrosit, limfa juga berfungsi untuk menyimpan eritrosit sehat di dalam pulpa interiornya, tempat penyimpanan trombosit dan banyak mengandung limfosit. Eritrosit yang rusak ditelan dan dicerna oleh sel makrofag dengan cara fagositosis. Bagian heme dari hemoglobin dipecah menjadi besi dan pigmen kuning yang disebut bilirubin. Komponen besi disimpan sementara di hati dan limpa sebelum didaur ulang di sumsum tulang merah dan digunakan untuk membentuk lebih banyak hemoglobin baru. Bilirubin (pigmen empedu) disekresikan oleh hati dalam empedu, yang dibawa oleh saluran empedu ke dalam usus kecil.

Eritrosit tidak dapat membelah diri, untuk menggantikan jumlahnya yang mati diproduksi eritrosit baru oleh sumsum tulang. Proses pembentukan eritrosit disebut eritropoiesis. Kecepatan pembentukan sel darah merah oleh sumsum tulang adalah 2 – 3 juta eritrosit/detik mengimbangi musnahnya sel-sel eritrosit tua, sehingga tetap dalam kondisi yang seimbang. Dalam keadaan normal 2,5 juta eritrosit hancur dalam setiap detik atau sekitar 0,00001% dari total seluruh jumlah eritrosit (25 triliun) yang mengalir dalam sirkulasi darah orang dewasa. Eritropoiesis dikontrol oleh hormon eritropoietin dari ginjal dan testosterone.

Produksi eritrosit bervariasi tergantung konsentrasi oksigen dalam darah. Jika konsentrasi oksigen darah rendah (hipoksia), seperti setelah perdarahan, eritropoietin ginjal dan hati dilepaskan, sehingga produksi eritrosit oleh sumsum tulang merah

meningkat. Ketika eritrosit baru ditambahkan ke darah dan konsentrasi oksigen meningkat ke tingkat normal, produksi eritropoietin menurun, menyebabkan penurunan produksi eritrosi, sehingga jumlah eritrosit selalu seimbang.

Besi, asam folat, dan vitamin B12 diperlukan untuk produksi eritrosit. Besi diperlukan untuk sintesis hemoglobin karena setiap molekul hemoglobin mengandung empat atom besi. Asam folat dan vitamin B12 diperlukan untuk sintesis DNA selama tahap awal pembentukan eritrosit dalam sumsum tulang merah. Vitamin B12 kadang-kadang disebut faktor ekstrinsik karena diperoleh eksternal untuk tubuh.



Tortora & Derrickson (2012)

Gambar 7. Pembentukan, penghancuran eritrosit dan daur ulang haemoglobin



INFO

Anda dapat mengunduh macromedia flash tentang perombakan haemoglobin pada alamat <http://course.zju.edu.cn/532/study/theory/2/Respiratory%20system/Hemoglobin%20breakdown.swf>

Kelainan Eritrosit

Jumlah eritrosit normal harus berada pada kisaran 4 – 6 juta sel/ m^3 darah. Berbagai penyakit dapat mempengaruhi jumlah eritrosit. Berikut ini beberapa kelainan atau gangguan yang terjadi pada eritrosit.

- a. Polisitemia adalah gangguan yang ditandai oleh jumlah eritrosit terlalu berlebihan (banyak). Hal ini dapat disebabkan oleh cacat produksi sel induk, penurunan volume plasma akibat dehidrasi, atau pengaruh ketinggian. Akibatnya berkurangnya aliran darah, penyumbatan kapiler, dan peningkatan ketebalan darah. Kondisi ini dapat menyebabkan hipertensi atau tekanan darah tinggi.

b. Anemia

Dalam kondisi normal, tingkat hemoglobin darah adalah 12-17 gram per 100 mililiter. Pada penderita anemia, jumlah eritrosit sedikit, dan/atau sel-sel eritrosit tidak memiliki cukup hemoglobin. Anemia dapat diklasifikasikan dalam salah satu dari beberapa kategori yang akan diuraikan berikut ini.

1. Anemia gizi

Anemia yang penyebab utamanya adalah kekurangan zat nutrisi terutama zat besi. Zat besi bisa terdapat pada bahan makan hewani, yakni daging dan hati. Gejala-gejala umum dari anemia adalah tampak pucat, lemas dan lesu. Suplemen zat besi dalam makanan dapat membantu mencegah anemia jenis ini.

2. Anemia perniosa

Anemia perniosa adalah bentuk lain dari anemia gizi. Saluran pencernaan tidak mampu menyerap cukup vitamin B12, yang penting untuk perkembangan sel darah merah. Tanpa vitamin B12, sel darah merah yang belum matang cenderung menumpuk di dalam sumsum tulang. Suplemen vitamin, dan/atau suntikan vitamin B12 adalah pengobatan yang efektif.

3. Anemia Aplastik

Adanya kelainan atau kerusakan pada "pabrik" pembuat sel darah merah sehingga tidak dapat memproduksi ke tiga komponen darah dengan baik, sehingga, bagi penderita anemia aplastik harus selalu memperoleh suplai darah melalui transfusi. Transplantasi sumsum tulang adalah salah satu pilihan untuk mengobati kondisi ini.

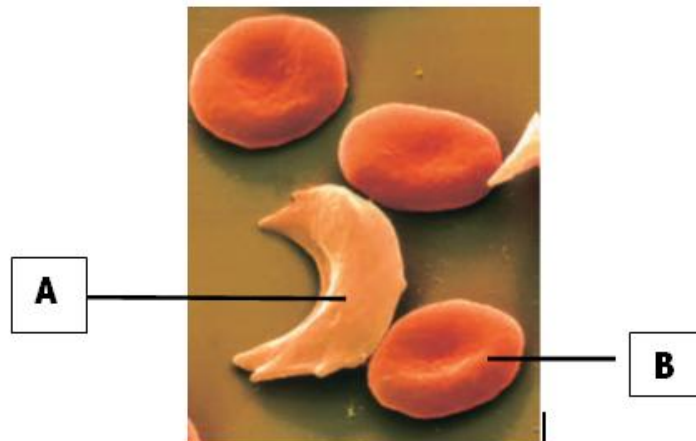
4. Anemia Hemolitik

Anemia Hemolitik terjadi karena laju kerusakan eritrosit meningkat (hemolisis adalah pecahnya sel darah merah). Penyakit ini umumnya menyebabkan eritrosit mudah pecah oleh berbagai sebab, dapat akut atau kronik. Anemia hemolitik akut umumnya disebabkan oleh gigitan binatang, seperti ular atau sengatan lebah. Anemia hemolitik dapat disebabkan kekurangan enzim untuk membentuk eritrosit, seperti kekurangan enzim G-6PD, atau adanya kelainan membran atau dinding eritrosit. Penyakit-penyakit ini umumnya diturunkan dari orang tua.

5. Anemia sel sabit (*sickle cell anemia*)

Anemia sel sabit merupakan penyakit keturunan. Penderita anemia sel sabit eritrositnya memiliki bentuk abnormal, yaitu bentuk sabit dengan hemoglobin abnormal dan tidak dapat membawa oksigen yang cukup. Eritrositnya rapuh,

mudah merobek ketika mereka melalui kapiler yang sempit. Akibatnya, jumlah eritrositnya jauh lebih sedikit dari biasanya, dan mengakibatkan gejala anemia. Kedua orang tua harus membawa gen penyakit sel sabit sehingga anak akan menderita anemia sel sabit. Seseorang dengan gen tunggal dikatakan memiliki sifat sickle cell, dan tidak memiliki gejala penyakit. Variasi keparahan mengakibatkan kematian sebelum usia 30, untuk kasus ringan, tanpa gejala.



Gambar 8. Bentuk eritrosit pada penderita anemia sel sabit (A) eritrosit normal (B)
(Saladin, 2009)

6. Talasemia

Talasemia adalah penyakit keturunan banyak ditemukan pada orang Afrika, Mediterania, dan Asia, termasuk Indonesia. Angka pembawa sifat penyakit ini di Indonesia berkisar 3 – 10%, artinya 10 dari 100 orang Indonesia adalah pembawa sifat penyakit ini. Pembawa sifat disebut talasemia minor. Mereka tidak pernah memperlihatkan gejala yang berarti, hanya saja saat diperiksa Hb-nya umumnya di bawah nilai normal. Jika diperiksa lebih dalam lagi, ukuran sel darah merahnya lebih kecil dari normal. Penderita talasemia produksi hemoglobinnya sedikit dan kematian dapat terjadi pada usia 20an. Kasus ringan menghasilkan anemia ringan. Anak penderita talasemia membutuhkan transfusi seumur hidup dengan segala resiko transfusi.

UJI KEMAMPUANMU

1. Deskripsikan bagaimana struktur eritrosit!
2. Jelaskan struktur dan fungsi haemoglobin!
3. Apakah yang dimaksud dengan talasemia?

4. SEL DARAH PUTIH (LEUKOSIT)

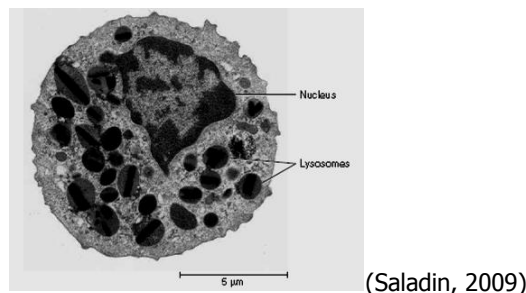
Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Mendeskripsikan fungsi leukosit
- Membedakan leukosit granuler dan agranuler
- Memberikan contoh kelainan pada leukosit

Sel darah putih (leukosit) berbeda dari eritrosit dalam hal struktur, jumlah maupun fungsinya. Ukuran leukosit lebih besar dibandingkan eritrosit dan memiliki inti. Leukosit tidak memiliki haemoglobin sehingga tidak berwarna. Jumlah leukosit tidak sebanyak eritrosit, berkisar 5 – 10 juta per milimeter darah atau rata-rata 7 juta sel/milimeter darah yang dinyatakan dengan $7000 /\text{mm}^3$. Leukosit merupakan sel darah yang paling sedikit jumlahnya sekitar 1 sel leukosit untuk setiap 700 eritrosit. Jumlah leukosit dapat bervariasi tergantung pada kebutuhan pertahanan yang selalu berubah-ubah.

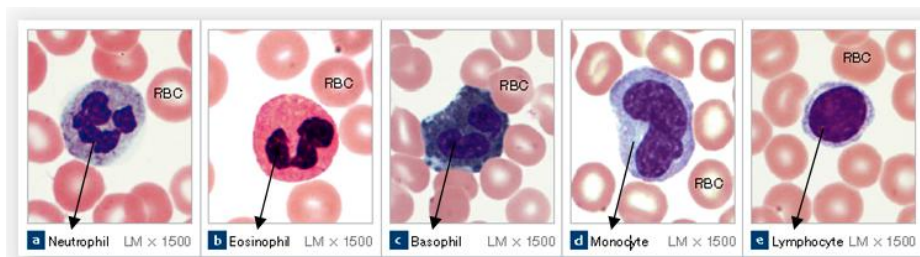
Leukosit memiliki fungsi menahan invasi oleh pathogen melalui proses fagositosis; mengidentifikasi dan menghancurkan sel kanker yang muncul di dalam tubuh; Membersihkan sampah tubuh yang berasal dari sel yang mati atau cedera.



(Saladin, 2009)

Gambar 9. Struktur Leukosit (TEM), Contoh Leukosit Tipe Eosinofil

Terdapat lima tipe leukosit, yaitu granulosit (neutrofil, eosinofil, basofil) yang sifatnya polimorfonuklear (memiliki inti lebih dari satu lobus) dan granulosit (monosit, limfosit) yang memiliki hanya satu lobus pada intinya (mononuklear), seperti yang terlihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Jenis-jenis Leukosit (Martini *et al*, 2012)

KORELASI KLINIS

Salah satu prosedur klinis yang paling umum dalam pemeriksaan fisik rutin dan diagnosis penyakit adalah perhitungan darah lengkap (*count Blood Cell/CBC*). CBC menghasilkan profil yang sangat informatif berkaitan dengan jumlah eritrosit, leukosit, dan trombosit per mikroliter darah; angka relatif (persentase) dari masing-masing jenis leukosit; hematokrit; konsentrasi hemoglobin; dan berbagai indeks eritrosit seperti ukuran (*mean corpuscular volume*, MCV) dan konsentrasi hemoglobin/eritrosit (*mean corpuscular hemoglobin*, MCH).

Hari ini, sebagian besar laboratorium menggunakan penghitung counter elektronik. Perangkat ini mengambil sampel darah melalui tabung yang sangat sempit dengan sensor yang mengidentifikasi jenis sel dan ukuran sel dan kadar hemoglobin. Counter ini memberikan hasil yang lebih cepat dan lebih akurat dibandingkan metode visual yang lama.

Berbagai jenis penyakit dapat didiagnosis dengan CBC, seperti anemia, kelainan ukuran, bentuk eritrosit, kadar hemoglobin. Kekurangan trombosit, kelebihan neutrofil dll.

Leukosit diproduksi dalam sumsum tulang merah, dan produksi setiap tipe leukosit diatur oleh protein yang disebut *colony-stimulating factor* (CSF). Granulosit dan monosit dihasilkan hanya di sumsum tulang, sedangkan limfosit juga dihasilkan di jaringan limfoid (jaringan yang mengandung limfosit seperti kelenjar limfe dan tonsil). Berbagai jenis leukosit diproduksi dengan berbagai tingkat kecepatan, bergantung pada jenis dan luas serangan yang dihadapi. Pada orang dengan sumsum tulang yang berfungsi normal, jumlah leukosit dapat menjadi dua kali lipat dalam hitungan jam, jika memang diperlukan. Banyak leukosit hanya hidup beberapa hari, kemungkinan mati karena bertempur melawan patogen. Leukosit lainnya dapat hidup selama berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun.

Tidak seperti eritrosit, leukosit hanya beredar dalam waktu singkat dalam pembuluh darah sepanjang hidupnya. Leukosit bermigrasi melalui jaringan ikat dan jaringan padat tubuh, menggunakan aliran darah untuk berpindah dari satu organ ke organ lainnya dan untuk menuju ke tempat yang mengalami infeksi atau cedera. Ketika leukosit beredar di sepanjang kapiler, leukosit dapat mendeteksi tanda kimia adanya kerusakan di sekitar jaringan. Jika masalah terdeteksi, leukosit meninggalkan aliran darah dan memasuki area yang mengalami kerusakan.

Sirkulasi leukosit mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- a. Semua leukosit dapat keluar dari pembuluh darah.

Ketika leukosit di dalam pembuluh darah diaktivasi, leukosit akan mendekati dan menempel pada dinding pembuluh darah dalam suatu proses yang disebut *marginasi*. Setelah berinteraksi lebih lanjut dengan sel endotel (epitel pembuluh darah), leukosit yang teraktivasi menembus endotel dan memasuki jaringan. Proses ini disebut emigrasi atau *diapedesis*.

- b. Semua leukosit mampu bergerak secara amoeboid. Gerak amoeboid adalah pergerakan meluncur yang disebabkan oleh aliran sitoplasma ke arah yang dituju (pergerakan ini diberi nama amoeboid karena serupa dengan pergerakan Amoeba). Mekanisme gerak amoeboid tidak sepenuhnya dipahami, tetapi melibatkan pengaturan ikatan secara terus menerus antara filamen aktin dalam sitoskeleton, dan membutuhkan ion kalsium serta ATP. Pergerakan amoeboid memungkinkan leukosit melewati endotelium menuju jaringan perifer.
- c. Semua leukosit tertarik pada rangsangan kimiawi khusus. Karakteristik ini disebut koemotaksis positif, yang akan menuntun leukosit untuk menyerang patogen, menuju jaringan rusak atau yang lainnya.
- d. Neutrofil, Eosinofil, dan Monosit mampu melakukan fagositosis. Sel-sel leukosit tersebut dapat menelan patogen, sel debris atau materi-materi yang lain. Neutrofil dan eosinofil kadang-kadang disebut makrofag untuk membedakan dengan makrofag yang lebih besar dalam jaringan ikat. Makrofag adalah monosit yang keluar dari pembuluh darah dan menjadi sangat aktif melakukan fagositosis.

**INFO**

Anda dapat mengunduh macromedia flash tentang proses fagositosis pada alamat

<http://highered.mheducation.com/sites/dl/free/0073525626/291136/Phagocytosis.swf>

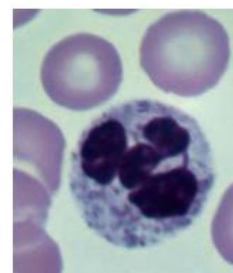
Jenis-jenis Leukosit*Neutrofil*

Neutrofil merupakan tipe leukosit yang jumlahnya paling banyak, sekitar 60 - 70% dari total leukosit. Kelompok sel ini dibedakan dengan kelompok sel yang lain dari struktur intinya yang memiliki 2 – 5 lobus. Neutrofil merupakan leukosit pertama yang merespon terhadap kerusakan jaringan.

Di antara granulosit, neutrofil merupakan spesialis fagosit.

Sel ini merupakan pertahanan pertama pada invasi bakteri

sehingga penting dalam proses peradangan. Selain itu, neutrofil juga berperan membersihkan debris. Peningkatan jumlah neutrofil dalam darah menunjukkan infeksi bakteri akut. Sebagian besar neutrofil memiliki usia yang pendek, sel ini bertahan dalam aliran darah sekitar 10 jam. Jika neutrofil aktif menelan debris atau patogen, sel ini hanya bertahan 30 menit atau kurang. Sel neutrofil akan mati jika menelan satu atau dua



Gambar 11. Neutrofil
(Stanley, 2009)

bakteri, tetapi sebelum pecah neutrofil melepaskan senyawa kimia yang menarik neutrofil lainnya ke daerah tersebut. Campuran antara neutrofil yang telah mati, debris, dan mikroorganisme yang telah mati membentuk nanah.

Eosinofil

Jumlah eosinofil berkisar antara 2 – 4% dari seluruh leukosit.

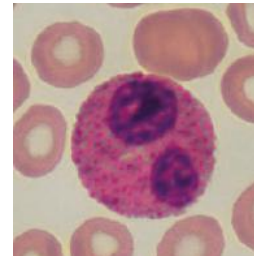
Sel ini ditandai dengan inti yang memiliki dua lobus. Dalam sitoplasmanya terlihat butiran-butiran merah jika diwarnai dengan pewarnaan eosin (pewarnaan asam), dari sifat inilah nama eosinofil muncul. Eosinofil merupakan sel motil yang

meninggalkan sirkulasi untuk memasuki jaringan selama reaksi

peradangan (inflamasi). Sel-sel ini yang paling umum terdapat pada jaringan mengalami

reaksi alergi, dan jumlahnya dalam darah meningkat jika orang mengalami alergi. Eosinofil dapat mengurangi respon peradangan dengan memproduksi enzim yang merusak bahan kimia inflamasi, seperti histamin. Ini akan mengontrol penyebaran

peradangan ke jaringan yang berdekatan. Eosinofil juga melepaskan bahan kimia beracun seperti oksida nitrat dan enzim sitotoksik yang menyerang parasit cacing tertentu, seperti cacing pita, cacing, cacing kremi, dan cacing tambang.



Gambar 12. Eosinofil
(Stanley, 2009)

Basofil

Basofil mengandung butiran sitoplasma besar yang berwarna

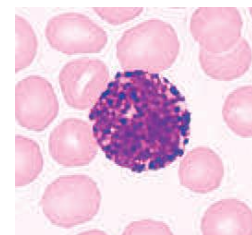
biru atau ungu dengan pewarnaan dasar. Jumlah Basofil paling

sedikit dibandingkan leukosit yang lain, yaitu hanya 0,5 – 1% dari seluruh leukosit. Sel ini lebih kecil dari neutrofil dan eosinofil dengan diameter 8 -10 μm , dengan inti berbentuk U.

Basofil bermigrasi ke area cedera dan menyeberangi endotelium

kapiler dan menumpuk di jaringan yang rusak, di mana sel-sel ini

melepaskan butiran-butiran ke dalam cairan interstitial. Butiran-butiran tersebut mengandung histamin, yang berfungsi melebarkan pembuluh darah, dan heparin, senyawa yang mencegah pembekuan darah. Basofil dirangsang melepaskan bahan kimia ini ke dalam cairan interstitial untuk meningkatkan peradangan lokal yang diprakarsai oleh sel mast. Meskipun senyawa yang sama yang dilepaskan oleh sel mast dalam jaringan ikat yang rusak, sel mast dan basofil adalah populasi yang berbeda dengan asal-



Gambar 13. Basofil
(Saladin, 2009)

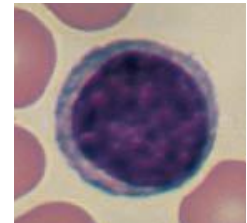
usul yang terpisah. Bahan kimia lain dilepaskan yang pengeluarannya dirangsang basofil untuk menarik eosinofil dan basofil lainnya ke area yang terluka.

Limfosit

Limfosit merupakan leukosit terkecil. Ukuran limfosit sedikit lebih besar dari eritrosit, dengan inti besar dan sitoplasma yang sangat tipis.

Jumlah limfosit adalah 20 – 25% dari seluruh leukosit. Meskipun limfosit berasal sumsum tulang merah, limfosit bermigrasi melalui darah ke jaringan limfatik, di mana sel-sel ini dapat berkembang biak dan menghasilkan lebih banyak limfosit. Mayoritas total populasi

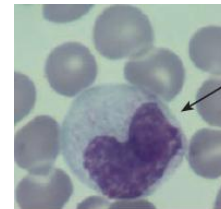
limfosit terdapat dalam jaringan limfatik: kelenjar getah bening, limpa, tonsil, nodul limfatik, dan timus. Meskipun limfosit tidak dapat diidentifikasi dengan pemeriksaan mikroskopis standar, sejumlah jenis limfosit memainkan peran penting dalam imunitas. Terdapat dua jenis limfosit, yaitu limfosit T secara langsung menyerang dan menghancurkan patogen (bakteri dan virus), terlibat dalam perusakan sel-sel tumor dan penolakan jaringan cangkok dan limfosit B yang menghasilkan antibodi yang menyerang bakteri.



Gambar 14. Limfosit
(Stanley, 2009)

Monosit

Monosit adalah leukosit terbesar, dengan diameter dua atau tiga kali diameter eritrosit. Monosit berjumlah sekitar 460 sel / μL atau sekitar 3 – 8% dari jumlah seluruh leukosit. Inti besar dan terlihat jelas, sering berwarna violet, dan biasanya berbentuk bulat telur, ginjal, atau tapal kuda. Sitoplasma monosit berlimpah dan jarang mengandung butiran halus. Monosit biasanya tetap dalam sirkulasi



Gambar 15. Monosit
(Stanley, 2009)

darah selama 3 hari, meninggalkan sirkulasi, menjadi berubah menjadi makrofag, dan bermigrasi melalui berbagai jaringan. Makrofag adalah sel yang sangat fagosit yang mengkonsumsi hingga 25% dari volume mereka sendiri per jam. Sel-sel ini memfagositosis bakteri, sel-sel mati, fragmen sel, dan puing-puing lain dalam jaringan. Peningkatan jumlah monosit sering dikaitkan dengan infeksi kronis. Makrofag dapat merangsang respon dari sel-sel lain seperti neutrofil dan sel fagosit lainnya dalam dua cara: (1) dengan pelepasan sinyal kimia dan (2) dengan fagosit dan pengolahan zat asing, yang disajikan untuk limfosit. Makrofag juga aktif mengeluarkan zat yang menarik

fibroblast ke wilayah ini. Fibroblas kemudian mulai memproduksi jaringan parut, yang dibentuk di dinding dari daerah luka.

Kelainan atau gangguan yang melibatkan leukosit

a. severe combined immunodeficiency disease (SCID)

Defisiensi imun kadang-kadang diwariskan. Anak-anak yang memiliki penyakit defisiensi imun gabungan yang parah (SCID) terjadi ketika sel-sel induk dari leukosit kekurangan enzim yang disebut adenosine deaminase. Tanpa enzim ini, limfosit B dan T tidak berkembang dan tubuh tidak dapat melawan infeksi. Sekitar 100 anak-anak yang lahir dengan penyakit ini setiap tahunnya. Memberikan suntikan enzim adenosine deaminase dapat diberikan dua kali seminggu, tetapi transplantasi sumsum tulang dari donor yang kompatibel adalah cara terbaik untuk menyembuhkan penyakit.

b. Leukimia

Leukemia, yang berarti "darah putih," mengacu kepada sekelompok kanker yang melibatkan proliferasi leukosit yang tidak terkendali. Sebagian besar leukosit ini abnormal atau belum matang. Oleh karena itu, mereka tidak mampu melakukan fungsi yang normal dalam pertahanan. Setiap jenis leukemia diberi nama sesuai dengan jenis sel yang bereproduksi tidak terkendali, misalnya, leukemia limfositik melibatkan proliferasi limfosit yang abnormal.

c. Infeksi Mononukleosis

Infeksi limfosit oleh Virus Epstein-Barr (EBV) adalah penyebab infeksi mononucleosis, dinamakan demikian karena sifat limfosit yang mononuklear. EBV (keluarga virus herpes), adalah salah satu virus manusia yang paling umum. Gejala mononucleosis infeksius adalah demam, sakit tenggorokan, dan kelenjar getah bening. Meskipun gejala biasanya hilang dalam satu atau dua bulan tanpa obat, EBV tetap aktif dan tersembunyi di beberapa sel di tenggorokan dan darah selama sisa hidup seseorang. Stres dapat mengaktifkan virus. Reaktivasi berarti bahwa air liur seseorang dapat menularkan infeksi kepada orang lain, seperti dengan ciuman mesra. Inilah sebabnya mengapa mononucleosis disebut "penyakit berciuman."

UJI KEMAMPUANMU

1. Sebutkan jenis-jenis leukosit beserta fungsinya!
2. Bagaimanakah karakteristik sirkulasi leukosit, jelaskan!
3. Beri contoh kelainanan yang melibatkan leukosit!

5. KEPING DARAH (TROMBOSIT)**Capaian Pembelajaran**

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

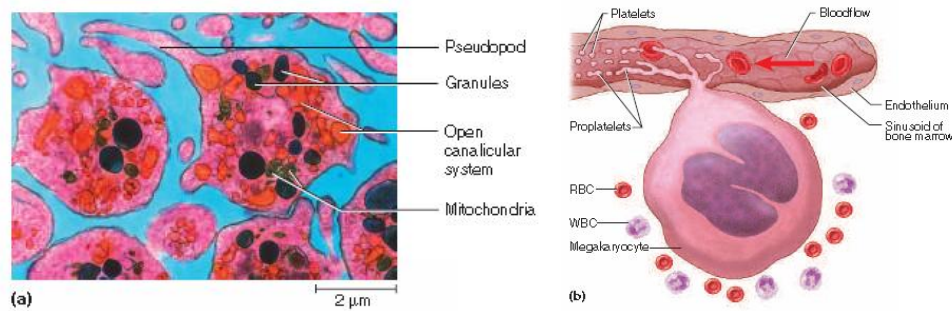
- menjelaskan struktur dan fungsi trombosit
- mendeskripsikan proses pembekuan darah
- memberi contoh kelainan pada trombosit

Struktur dan fungsi trombosit

Trombosit bukan merupakan sel utuh tapi merupakan potongan keping sel yang terlepas dari tepi sel luar suatu sel besar (diameter 60 μm) disumsum tulang yang disebut megakariosit. trombosit terdiri dari sejumlah kecil sitoplasma yang dikelilingi oleh membran plasma. Trombosit berbentuk cakram dan rata-rata diameter sekitar 3 μm . Permukaan trombosit memiliki glikoprotein dan protein yang memungkinkan trombosit untuk menempel pada molekul lain, seperti kolagen dalam jaringan ikat. Dalam setiap mililiter darah pada keadaan normal terdapat sekitar 250.000 trombosit (kisaran 150.000 – 350.000/ mm^3). Trombosit tidak mempunyai inti, namun terdapat organel dan enzim sitosol untuk menghasilkan energi dan mensintesis produk sekretorik yang disimpan dalam granul. Trombosit mengandung aktin dan miosin dalam konsentrasi tinggi sehingga trombosit dapat berkontraksi.

Harapan hidup trombosit sekitar 5-9 hari dan setelah itu akan dihancurkan oleh makrofag. Trombosit diproduksi dalam sumsum merah. Trombosit tidak keluar dari pembuluh darah, tetapi sepertiga dari trombosit total selalu tersimpan di rongga-rongga berisi darah di limfa yang akan dikeluarkan oleh limfa jika terjadi perdarahan.

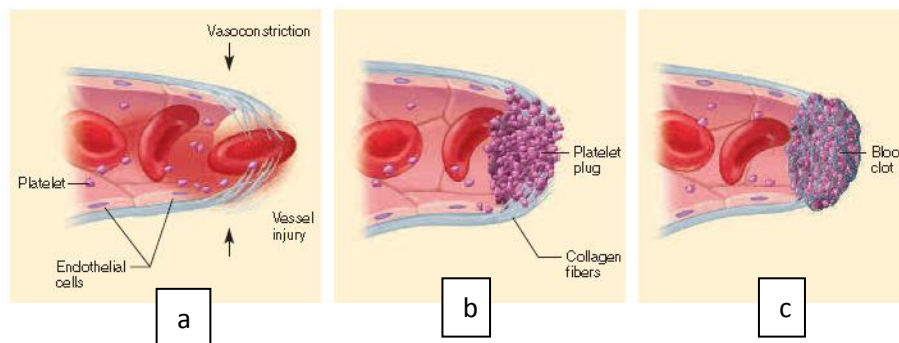
Trombosit memainkan peran penting dalam mencegah kehilangan darah dengan cara: (1) membentuk keping/butiran, yang menutup lubang kecil di pembuluh darah dan (2) merangsang dibentuknya kontruksi bekuan yang membantu menutup luka besar di pembuluh darah.



Gambar 16. (a) Struktur Trombosit (b) Pembentukan Trombosit dari Megakariosit (Saladin, 2009)

Homoestasis

Setiap kali pembuluh darah yang rusak, beberapa proses homeostasis diimplementasikan untuk mencegah kehilangan darah yang berlebihan. Penghentian perdarahan disebut hemostasis dan melibatkan tiga proses terpisah namun saling terkait. Ketiga proses itu adalah penyempitan pembuluh darah (*Vascular spasm*), pembentukan sumbat trombosit, dan pembentukan bekuan darah.



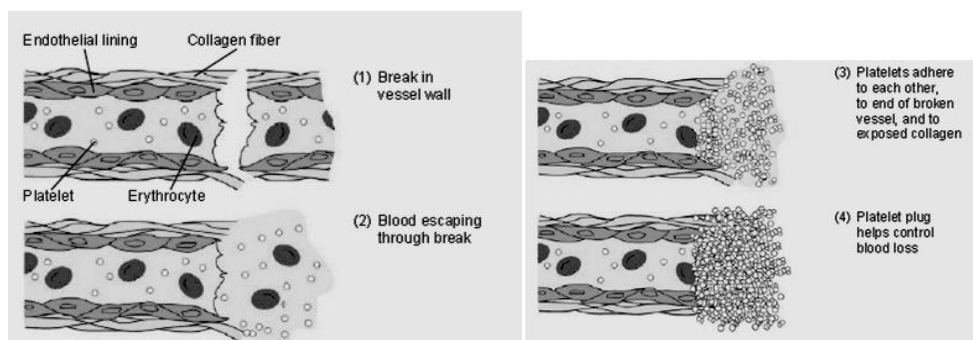
Gambar 17. (a) *vascular spasm* (b) sumbat trombosit (c) pembekuan darah (Saladin, 2009)

Penyempitan pembuluh darah (vascular spasm)

Respon pertama ketika terjadinya pembuluh darah yang rusak adalah penyempitan pembuluh darah yang dihasilkan oleh kontraksi otot polos pada dinding pembuluh darah. Peristiwa ini membatasi kehilangan darah dari pembuluh yang rusak, karena dapat menutup pembuluh yang benar-benar kecil dan menghentikan aliran darahnya. Beberapa hal memicu terjadinya reaksi ini. Cedera merangsang reseptor nyeri, beberapa di antaranya langsung menginnervasi pembuluh darah di dekatnya dan menyebabkan pembuluh darah mengerut. Efek ini berlangsung hanya beberapa menit, tetapi mekanisme lain mengambil alih pada saat reaksi ini mereda.

Pembentukan sumbat trombosit (Platelet Plug Formation)

Trombosit biasanya tidak menempel antara satu sama lain atau ke dinding pembuluh darah karena mereka ditolak oleh dinding pembuluh darah yang bermuatan positif. Ketika pembuluh darah rusak, jaringan ikat di pembuluh darah terbuka, akibatnya trombosit tertarik ke situs tersebut dan menempel pada jaringan ikat (yang bermuatan negatif) juga menempel antara satu sama lain sehingga sekelompok trombosit terakumulasi membentuk sumbat. Sumbat trombosit dapat mengurangi atau menghentikan pendarahan kecil.



Gambar 18. Tahapan pembentukan sumbat trombosit (Stanley, 2009)

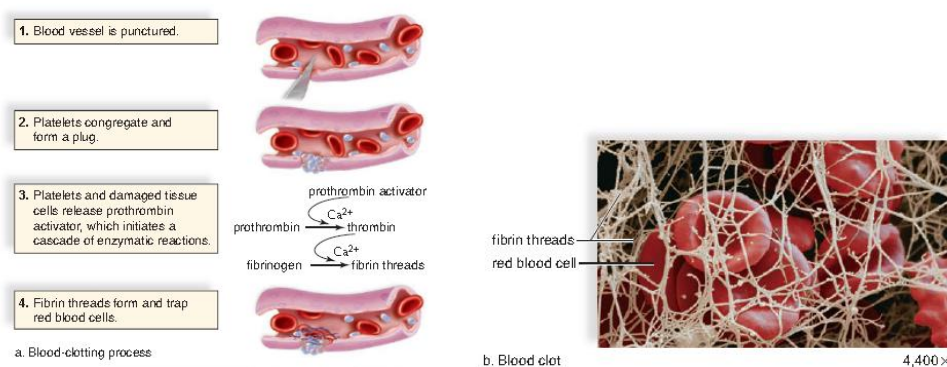
Pembekuan Darah

Pembekuan darah adalah proses ketiga dan paling efektif dalam proses hemostasis. Sangatlah penting darah membeku dengan cepat ketika pembuluh darah mengalami kerusakan, tetapi sama pentingnya agar darah tidak menggumpal ketika tidak ada kerusakan di pembuluh darah. Karena keseimbangan ini, proses pembekuan darah adalah salah satu proses yang paling kompleks dalam tubuh, yang melibatkan lebih dari 30 reaksi kimia dan melibatkan juga banyak zat. Walaupun prosesnya kompleks, pembekuan darah selesai dalam waktu tiga sampai enam menit setelah pembuluh darah mengalami kerusakan.

Langkah-langkah kunci dalam proses pembekuan darah adalah sebagai berikut:

1. Jaringan Rusak melepaskan tromboplastin dan agregat trombosit melepaskan faktor trombosit, yang bereaksi dengan beberapa faktor pembekuan dalam plasma untuk menghasilkan protrombin aktivator.
2. Dengan adanya ion kalsium, protrombin aktivator merangsang konversi protrombin, (inaktif enzim) ke trombin (aktif enzim).

3. Dengan adanya ion kalsium, trombin mengubah molekul fibrinogen, protein plasma yang larut, menjadi benang yang tidak larut yang disebut fibrin. Benang-benang fibrin membentuk anyaman yang menjebak sel darah dan menempel pada jaringan yang rusak untuk membentuk trombus atau bekuan darah. Setelah bekuan terbentuk, benang-benang fibrin menghasilkan gumpalan lebih kompak dan menarik jaringan yang rusak lebih dekat satu sama lain. Selanjutnya, fibroblas bermigrasi ke gumpalan tersebut dan membentuk jaringan ikat fibrosa yang memperbaiki daerah yang rusak.



INFO

Gambar 19. Tahapan Pembekuan Darah (Mader, 2011)

Anda dapat mengunduh macromedia flash tentang proses pembekuan darah pada alamat <http://www.hopkinsmedicine.org/hematology/Coagulation.swf>

Kelainan dan Gangguan terkait Trombosit

a. Trombositopenia

Terbatasnya jumlah trombosit disebut trombositopenia. Trombositopenia terjadi karena produksi trombosit yang rendah dalam sumsum tulang atau meningkat kerusakan trombosit di luar sumsum. Sejumlah kondisi, termasuk leukemia, dapat menyebabkan trombositopenia. Hal ini juga dapat disebabkan obat. Gejalanya penyakit ini adalah memar, ruam, dan mimisan atau pendarahan di mulut. Perdarahan gastrointestinal atau perdarahan di otak yang dapat menyebabkan komplikasi.

TAHUKAN ANDA?

Banyak parasit penghisap darah vertebrata, mengeluarkan zat antikoagulasi yang menjaga darah tetap mengalir, contohnya adalah lintah. Zat antikoagulan pertama kali ditemukan dalam air liur lintah jenis *Hirudo medicinalis* yang disebut hirudin tahun 1884. Hirudin merupakan polipeptida yang mencegah pembekuan dengan menghambat trombin. Karena kemampuannya itu, sudah sejak lama Lintah digunakan dalam pengobatan modern. Para dokter bedah vaskular menggunakan lintah untuk menyambungkan bagian pembuluh darah kecil di bagian yang cedera, misalnya pada operasi penyambungkan kembali daun telinga.

b. Trombosis

Jauh lebih banyak orang meninggal karena pembekuan darah yang tidak diinginkan dari pada kegagalan pembekuan. Kebanyakan stroke dan serangan jantung adalah karena trombosis, yaitu terbentuknya bekuan darah (trombus) abnormal di pembuluh darah. Sebuah trombus (bekuan) dapat tumbuh cukup besar dan menghalangi aliran darah di pembuluh darah kecil, atau potongan bekuan darah ini dapat mengalir di dalam aliran darah sebagai embolus. Jika pembentukan bekuan ini tidak diatasi aliran darah bisa terhenti, dan jika pembuluh darah yang tersumbat berada di organ vital seperti jantung, otak, paru-paru, atau ginjal, dapat menyebabkan infark (kematian jaringan). Ratusan ribu orang meninggal tromboemboli (trombus yang mengalir dalam aliran darah). Sebagai contoh sekitar 650.000 orang Amerika meninggal setiap tahun karena tromboemboli.

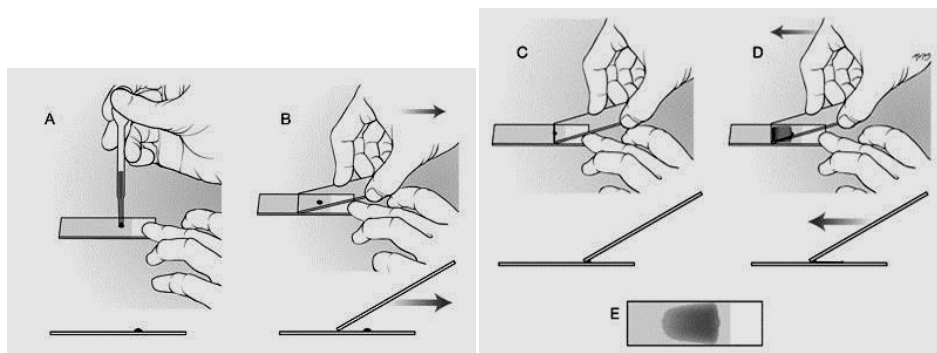
c. Hemofilia

Hemofilia adalah penyakit kelainan genetik yang disebabkan oleh kekurangan faktor pembekuan darah sehingga darah sukar membeku. Terdapat banyak faktor yang menyebabkan terjadinya kesulitan pembekuan darah. Hemofilia A (hemofilia klasik) disebabkan oleh defisiensi faktor pembekuan VIII. lebih mungkin terjadi pada anak laki-laki dari pada anak perempuan. Hemofilia A disebabkan oleh salinan abnormal dari gen produksi faktor VIII, ditemukan pada kromosom X. Hemofilia ini muncul ketika anak laki-laki memiliki gen abnormal pada kromosom X. Kasus hemofilia A terjadi 1 dari 5.000 laki-laki di seluruh dunia. Kekurangan faktor IX menyebabkan hemofilia B (*Christmas disease*), menyumbang 15% dari seluruh kasus dan terjadi pada sekitar 1 dari 30.000 laki-laki. Bentuk yang jarang disebut hemofilia C (defisiensi faktor XI) adalah autosomal dan tidak terkait seks, sehingga terjadi sama pada kedua jenis kelamin. Pada hemofilia, benjolan sedikit dapat menyebabkan perdarahan ke dalam sendi, yang diikuti degenerasi tulang rawan pada sendi. Penyebab paling sering dan mengakibatkan kematian adalah pendarahan ke otak disertai kerusakan saraf. Suntikan reguler faktor VIII berhasil dapat mengobati penyakit.

KEGIATAN**MEMBUAT APUSAN DARAH**

Untuk melihat struktur sel-sel darah dengan mikroskop cahaya pada umumnya dibuat sediaan apus darah. Sediaan apus darah ini tidak hanya digunakan untuk mempelajari sel darah tapi juga digunakan untuk menghitung perbandingan jumlah masing-masing sel darah. Pembuatan preparat apus darah ini menggunakan suatu metode yang disebut metode oles (metode smear). Bagaimana membuatnya, ikutilah prosedur berikut ini.

1. Siapkan alat dan bahan yang terdiri dari jarum penusuk (jarum franked), kaca benda dan kaca penutup yang telah bersih, alkohol 70%, kapas, pewarna giemsa.
2. Siapkan ujung jari kiri bagian tengah atau manis, olesi dengan alkohol 70%.
3. Sterilkan jarum franke dengan alcohol 70%.
4. Siapkan 2 kaca benda yang bersih dan bebas lemak .
5. Tusuklah ujung jari dengan jarum franked dan keluarkan darah, tetaskan darah yang keluar dari ujung jari pada salah sisi kaca benda A bagian kanan
6. Letakkan kaca benda kedua (B) pada sisi pendek dengan sudut 45 derajat, hingga menyentuh tetesan darah pada kaca benda pertama sampai .
7. Geser kaca benda kedua (diapus) ke arah menjauhi sisi kanan gelas benda pertama dengan kekuatan dan kecepatan yang sama rata sehingga didapat film darah yang tipis dan rata.
8. Apusan darah dikeringanginkan, setelah kering difiksasi dengan metanol selama 5 menit dan dikering anginkan. Dengan menggunakan pipet tetes, seluruh permukaan sediaan oles ditetesi dengan larutan Giemsa, diamkan selama 15 menit, kemudian cuci dengan air mengalir, keringanginkan.
9. Amati di bawah mikroskop. Identifikasi sel-seldarahnya dan gambarkan strukturnya.



UJI KEMAMPUANMU

1. Sebutkan 3 mekanisme dasar proses homeostasis!
2. Jelaskan langkah kunci proses pembekuan darah
3. Beri contoh gangguan atau kelaianan yang terkait trombosit!

6. Penggolongan Darah**Capaian Pembelajaran**

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Menjelaskan penggolongan darah
- Menjelaskan fungsi penggolongan darah

Jika jumlah besar darah yang hilang selama operasi atau kecelakaan, pasien dapat mengalami syok dan kematian kecuali dilakukan transfusi atau infus. Transfusi adalah transfer darah atau komponen darah dari satu orang ke orang lain. Ketika jumlah besar darah yang hilang, sel-sel darah merah harus diganti untuk mengembalikan kapasitas eritrosit membawa oksigen.

Pada awalnya upaya untuk transfusi darah dari satu orang ke orang lain sering tidak berhasil karena mengakibatkan reaksi transfusi, termasuk terjadinya pembekuan dalam pembuluh darah, kerusakan ginjal, dan kematian. Sekarang diketahui bahwa reaksi transfusi disebabkan oleh interaksi antara antigen dan antibodi. Antigen adalah zat yang dapat memicu mekanisme pertahanan tubuh yang disebut respon imun. Kebanyakan antigen adalah protein.

Permukaan eritrosit memiliki molekul yang disebut antigen dan dalam plasma terdapat molekul yang disebut antibodi. Antibodi sangat spesifik, yang berarti bahwa setiap antibodi dapat menggabungkan hanya dengan antigen tertentu. Ketika antibodi dalam plasma mengikat ke antigen di permukaan sel eritrosit maka akan terbentuk jembatan molekuler yang menghubungkan sel-sel eritrosit. Akibatnya terjadi aglutinasi atau menggumpal. Kombinasi antibodi dengan antigen juga dapat menyebabkan reaksi hemolisis. Karena kombinasi antigen-antibodi dapat menyebabkan aglutinasi, antigen sering disebut agglutinojen dan antibodi disebut agglutinin.

Antigen pada permukaan eritrosit telah dikategorikan ke dalam kelompok-kelompok darah, dan lebih dari 35 kelompok darah, yang sebagian besar jarang terjadi, telah diidentifikasi. Untuk transfusi, kelompok darah ABO dan Rh adalah yang paling

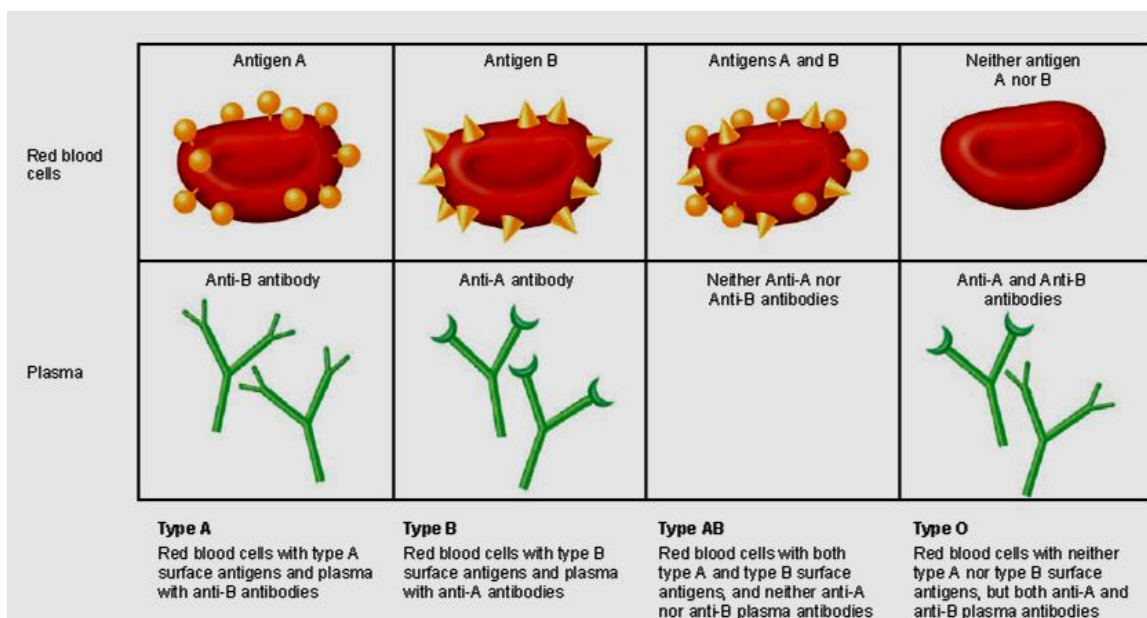
penting. Kelompok terkenal lainnya termasuk Lewis, Duffy, MNSs, Kidd, Kell, dan kelompok Lutheran.

Penggolongan darah sistem ABO

Penggolongan darah sistem ABO didasarkan pada ada atau tidaknya dua antigen pada permukaan eritrosit, yaitu antigen A dan antigen B. Seperti semua antigen, antigen pada eritrosit merupakan sifat yang diturunkan dan tetap tidak berubah dari lahir sampai meninggal. Golongan darah ABO dibagi menjadi empat jenis kemungkinan, yaitu A, B, AB, dan O. Tabel 2 berikut ini menyajikan antigen dan antibodi yang terdapat dalam setiap golongan darah.

Tabel 2. Antigen dan Antibodi dalam golongan darah tipe ABO

GOLONGAN DARAH	ANTIGEN DI ERITROSIT	ANTOBODI DALAM PLASMA
A	A	a
B	B	b
AB	A, B	Tidak ada
O	Tidak ada	a, b



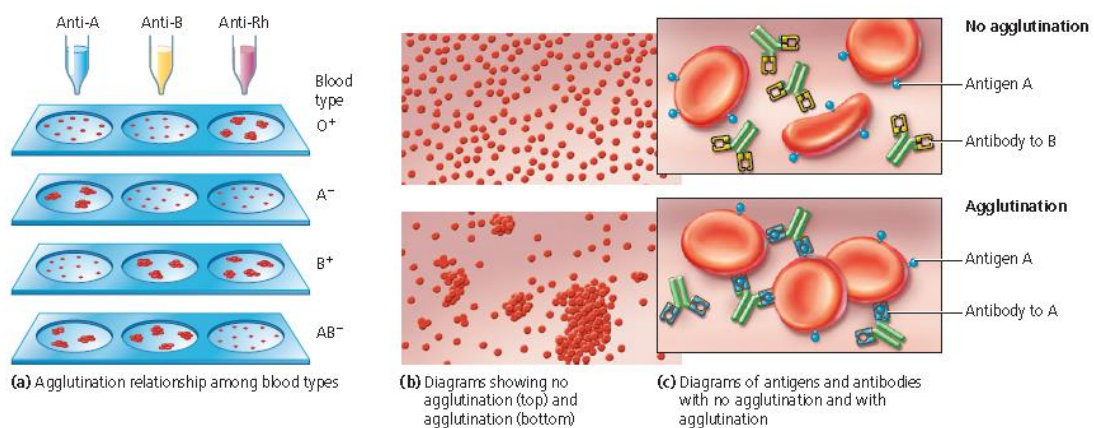
Gambar 20. Karakteristik Antigen dan Antibodi dalam Golongan Darah ABO (Stanley, 2009)

Karena antibodi anti-A dan anti-B menyebabkan penggumpalan eritrosit dengan antigen A dan B, masing-masing, jenis darah ABO mudah ditentukan. Hal ini dapat

dilakukan dengan menempatkan sampel darah pada kaca objek. Masing-masing darah dalam slide kaca ditetaskan satu tetes serum, satu sampel darah ditetesi serum yang mengandung antibodi anti-A dan serum yang mengandung antibodi anti-B ditambahkan ke yang lain. Pola aglutinasi yang terjadi pada tetes darah yang diuji ditunjukkan pada Tabel 3. dan Gambar 21. berikut ini.

Tabel 3. Pola Aglutinasi pada penentuan golongan darah sistem ABO

GOLONGAN DARAH	SERUM ANTI A + DARAH	SERUM ANTI B + DARAH
A	Aglutinasi	Tidak ada aglutinasi
B	Tidak ada aglutinasi	Aglutinasi
AB	Aglutinasi	Aglutinasi
O	Tidak ada aglutinasi	Tidak ada aglutinasi



Gambar 21. Penentuan Golongan Darah sistem ABO (Goodenough & McGuire, 2012)

Seperti yang telah disebutkan di atas, penggolongan darah penting untuk proses transfusi. Transfusi darah dilakukan dengan golongan darah yang sama, kecuali dalam kondisi darurat. Ketika jenis darah yang berbeda harus digunakan, sangat penting bahwa antigen dari darah yang ditransfusikan bersifat kompatibel dengan antibodi darah penerima. Sebagai contoh, darah dengan antigen A atau B tidak dapat diberikan kepada pasien yang darahnya mengandung antibodi anti-A atau anti-B. Mengingat hal ini dan pola antigen dan antibodi dalam jenis darah ABO, kompatibilitas jenis darah untuk transfusi dapat ditentukan.

Tabel 4 berikut ini menunjukkan jenis darah ABO yang digunakan untuk transfusi dan jenis darah yang menerimanya. Perhatikan tabel 4 tersebut, terlihat bahwa golongan darah AB dapat menerima darah dari semua jenis golongan darah baik

A, B, O dan jenis darah O dapat diberikan untuk semua jenis darah ABO. Oleh karena itu, golongan darah AB kadang-kadang disebut penerima/resipien universal, dan golongan darah O dikenal sebagai donor universal.

Tabel 4. Tipe Golongan Darah Untuk Proses Transfusi

GOLONGAN DARAH RESEPIEN	GOLONGAN DARAH DONOR YANG DIUTAMAKAN	GOLONGAN DARAH DONOR YANG BISA MENYUMBANG
A	A	O
B	B	O
AB	AB	A, B, O
O	O	TIDAK ADA

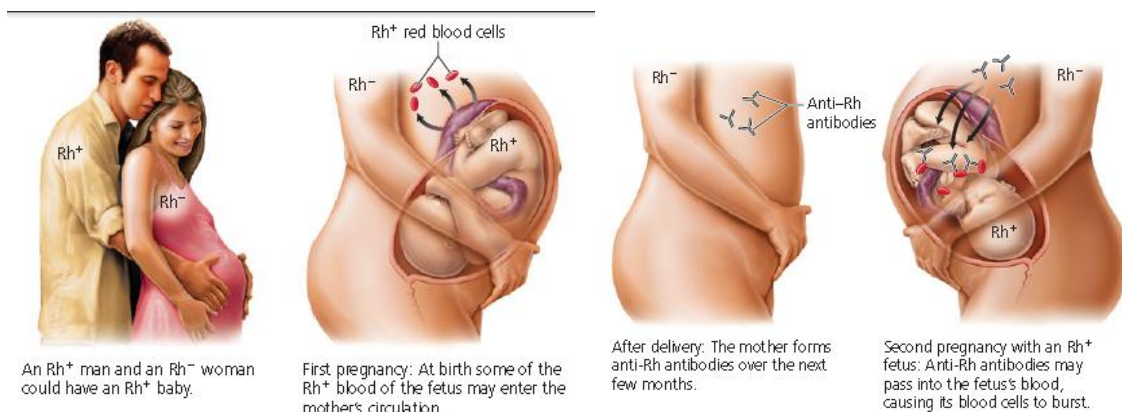
Sistem Rhesus (Rh)

Antigen A dan B bukan satu-satunya antigen penting yang ditemukan pada permukaan eritrosit. Ada atau tidak adanya faktor Rh juga merupakan komponen penting dari golongan darah. Nama Rh berasal dari nama monyet rhesus, dimana antigen Rh pertama kali ditemukan. Orang-orang yang memiliki antigen Rh pada eritrositnya mereka dianggap memiliki Rh-positif (+), dan jika tidak ada antigen Rh di eritrositnya, individu tersebut dianggap mempunyai Rh-negatif (-). Orang dengan Rh-negatif tidak akan membentuk antibodi anti-Rh kecuali ia telah terkena antigen Rh. Untuk alasan ini, individu Rh-negatif harus diberikan darah hanya dari darah Rh-negatif ketika ditransfusi. Jika diberikan darah Rh-positif, maka akan merangsang produksi antibodi anti-Rh. Reaksi transfusi tidak akan terjadi pada transfusi pertama, karena butuh waktu bagi tubuh untuk membuat antibodi anti-Rh. Namun, setelah transfusi kedua dari darah Rh-positif, antibodi dalam plasma penerima akan bereaksi dengan antigen pada eritrosit dari darah yang disumbangkan. Reaksi ini dapat menyebabkan kematian pasien.

Masalah yang sama terjadi pada eritroblastosis fetalis (penyakit hemolitik pada bayi baru lahir), yaitu kelainan darah pada bayi baru lahir yang disebabkan penghancuran eritrosit janin oleh antibodi maternal. Ketika seorang wanita dengan darah Rh⁻ hamil anak pertama dengan Rh⁺, beberapa eritrosit Rh⁺ mungkin secara tidak sengaja masuk ke darah ibu karena rusaknya pembuluh darah plasenta. Hal ini paling sering terjadi selama persalinan. Pengenalan eritrosit janin (Rh⁺) dengan antigen Rh memicu penumpukan antibodi anti-Rh dalam darah ibunya. Penumpukan berjalan lambat, tapi ibu telah menjadi peka terhadap antigen Rh. Eritroblastosis fetalis dapat berkembang pada

kehamilan berikutnya dengan janin Rh⁺ karena antibodi anti Rh dalam darah ibu mudah melewati plasenta masuk ke dalam darah janin dan menggumpalkan eritrosit janin. Jika sejumlah besar eritrosit menggumpal dan hancur, kemampuan janin untuk mengangkut oksigen menurun. Menanggapi konsentrasi oksigen menurun, jaringan pembentuk darah janin meningkatkan produksi eritrosit. Dalam upaya untuk mempercepat menghasilkan eritrosit, sejumlah besar sel darah merah yang belum matang disebut erythroblasts dilepaskan ke dalam darah. Sel-sel yang belum dewasa ini tidak mampu membawa oksigen seperti sel darah merah yang matang.

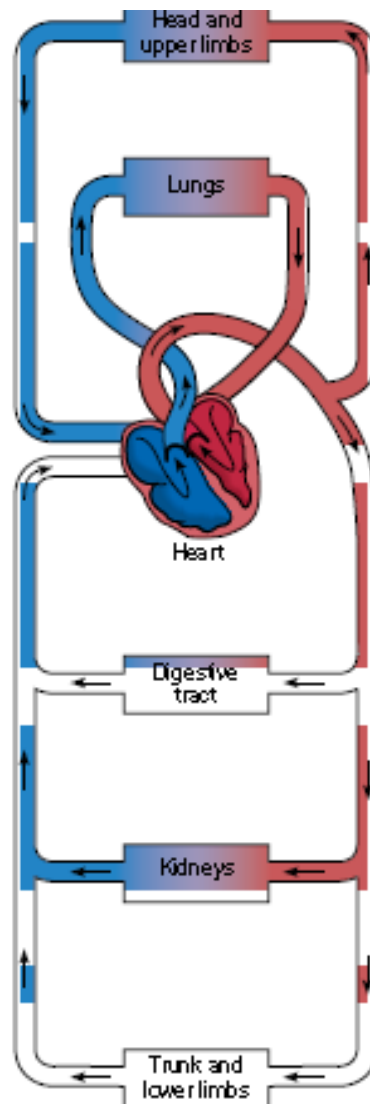
Penghancuran sejumlah besar eritrosit menghasilkan efek berbahaya lainnya. Hemoglobin dibebaskan dari eritrosit dapat mengganggu fungsi normal ginjal dan dapat menyebabkan gagal ginjal. Pemecahan hemoglobin dalam jumlah besar membentuk kelebihan bilirubin, empedu pigmen kuning yang menghasilkan penyakit kuning. Kekurangan oksigen dan konsentrasi bilirubin yang berlebihan dalam darah janin dapat menyebabkan kerusakan otak pada bayi yang menderita.



Gambar 22. Ketidaksesuaian Rh dapat terjadi ketika seorang wanita Rh-negatif (-) hamil dengan bayi Rh-positif (+) jika wanita tersebut sebelumnya telah terkena Rh (+)

B. JANTUNG DAN PEMBULUH DARAH

Jantung dan pembuluh darah merupakan bagian dari sistem kardiovaskular. Jantung memompa darah melalui sistem tertutup pembuluh darah. Arteri membawa darah dari jantung ke kapiler dalam jaringan tubuh. Vena membawa darah dari kapiler dalam jaringan tubuh kembali ke jantung. Gambar 23 menunjukkan skema umum sirkulasi darah dalam tubuh. Pembuluh darah berwarna biru membawa terdeoksigenasi darah (miskin oksigen) dan pembuluh darah merah membawa darah yang kaya oksigen.



Gambar 23 Skema Umum Peredaran Darah. Pembuluh darah yang berwarna merah membawa darah yang kaya oksigen, yang berwarna biru membawa darah yang miskin oksigen (deoksigenasi) (Shier *et al*, 2001)

JANTUNG

Capaian Pembelajaran

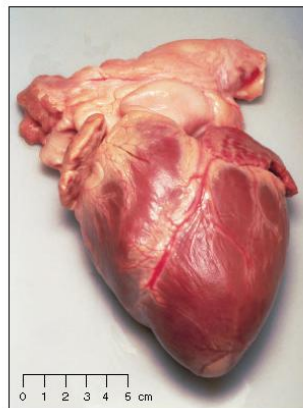
Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Mendeskripsikan struktur dan fungsi jantung
- menjelaskan siklus jantung

Jantung merupakan pompa otot yang luar biasa yang menghasilkan gaya yang dibutuhkan untuk mengedarkan darah. Jantung berdenyut sekitar 72 kali per menit, tidak pernah berhenti setiap waktu dan tidak merasa kelelahan. Untuk menggambarkan usaha yang dilakukan oleh jantung, coba anda lakukan secara bergantian mengepalkan dan membuka kepalan sebanyak 70 kali per menit. Berapa menit yang anda butuhkan sebelum otot-otot tangan Anda terlalu lelah untuk melanjutkannya? Sebaliknya, jantung sehat tidak kelelahan. Jantung berdenyut lebih dari 100.000 kali setiap hari, sekitar 2 miliar ketukan selama seumur hidup. Volume darah yang dipompa oleh jantung sama luar biasanya. Jantung memompa sekitar 5 liter darah dalam satu menit melalui ruang-ruang jantung atau lebih dari 9400 liter per hari.

Struktur Jantung

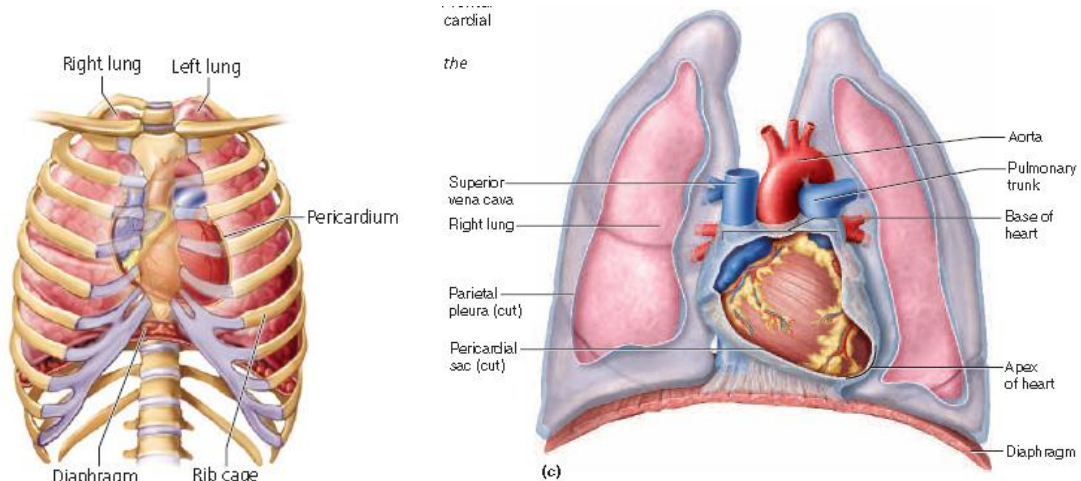
Jantung (bahasa Latin, *cor*) adalah organ berotot yang memompa darah lewat pembuluh darah oleh kontraksi berirama yang. Ukuran jantung bervariasi sesuai dengan ukuran tubuh. Jantung dewasa berukuran sekitar 9 cm lebarnya, n 13 cm dari dasar ke puncak, dan 6 cm dari anterior ke posterior. Beratnya sekitar 300 g (10 oz).



Gambar 24. Pandangan Anterior Jantung Manusia (Shier *et al.* 2001)

Letak Jantung

Jantung terletak di dalam rongga dada di bagian mediastinum, di antara paru-paru di balik tulang dada (sternum). Posisi jantung berbelok ke bawah dan sedikit ke arah kirii, jadi sekitar dua pertiga jantung terletak di sebelah kiri. Bagian atas jantung lebih luas dibandingkan dengan bagian dasar. Bagian ujung jantung rmeruncing (berbentuk kerucut), tepat di atas diafragma.



Gambar 25. Posisi Jantung di rongga dada (Goodenough & McGuire, 2012; Saladin, 2009)

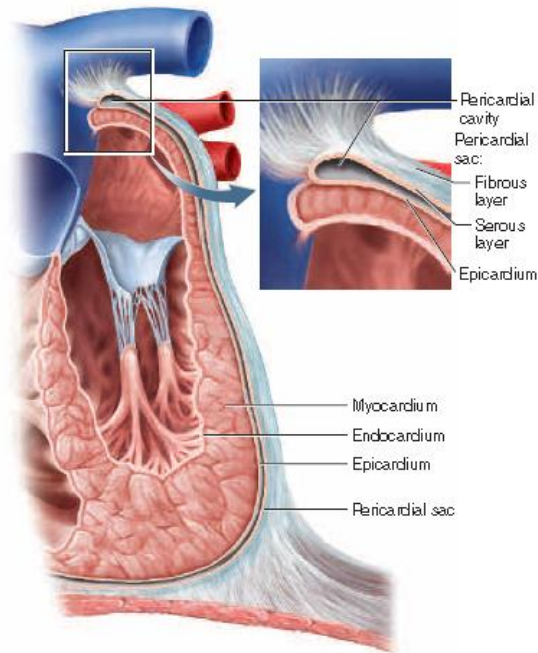
Penutup jantung

Jantung tertutup dalam kantung ber dinding ganda disebut perikardium. Dinding luar disebut kantung perikardial (perikardium parietal) yang tersusun oleh lapisan berserat yang merupakan jaringan ikat padat yang tidak teratur bagian dalam ditutupi oleh tipis yaitu lapisan serosa. Lapisan serosa bergulir ke dalam di dasar jantung dan membentuk epikardium (perikardium visceral) yang menutupi permukaan jantung (Gambar 25). Kantung perikardial menyatu dengan diafragma bagian bawah oleh ligamen. Antara membran parietal dan visceral terdapat ruang yang disebut rongga perikardial yang berisi 5 sampai 30 ml cairan perikardial yang dikeluarkan oleh perikardium serosa. Cairan ini berfungsi melumasi membran dan memungkinkan jantung mengurangi gesekan saat berdenyut. Perikarditis (peradangan pada perikardium) memungkinkan perikardium menjadi kasar dan menghasilkan gesekan yang menyakitkan setiap kali jantung berdenyut. Selain mengurangi gesekan, perikardium membatasi jantung dari organ dada lain dan memungkinkan ruang untuk memperluas, namun menolak ekspansi yang berlebihan.

Dinding Jantung

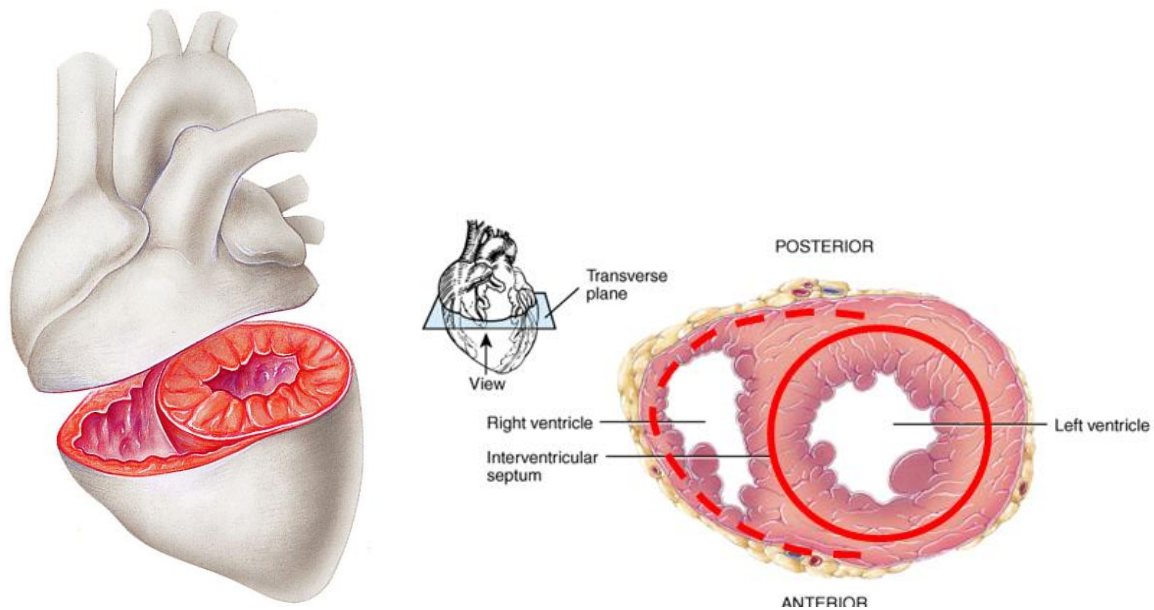
Dinding jantung terdiri dari tiga lapisan, yaitu epikardium, miokardium, dan endokardium. Epikardium (perikardium viseral) adalah membran serosa pada permukaan jantung. epikardium terutama tersusun oleh epitel skuamosa sederhana di bagian atas eh lapisan tipis jaringan areolar. Di beberapa tempat mengalami penebalan oleh lapisan jaringan adiposa, sedangkan di daerah lain itu bebas lemak. Cabang-cabang terbesar dari pembuluh darah koroner melalui epikardium tersebut.

Endocardium, merupakan lapisan interior ruang jantung. Seperti epikardium, endokardium terdapat endothelium yang terbentuk oleh skuamosa sederhana di bagian atas lapisan tipis jaringan areolar; Namun, endocardium tidak memiliki jaringan adiposa. Endocardium meliputi permukaan katup dan terus menyatu dengan endothelium pembuluh darah.



Gambar 26. Pericardium dan dinding jantung (Saladin, 2009)

Miokardium terletak di antara kedua lapisan epicardium dan endokardium, tersusun oleh otot jantung. Miokardium merupakan lapisan tebal dan merupakan lapisan yang melakukan kerja jantung. Ketebalannya bervariasi antara satu ruang jantung dengan ruang jantung yang lain dan sebanding dengan beban kerja pada individu. Dinding Atria lebih tipis untuk mengantarkan darah ke ventrikel. Dinding Ventricle lebih tebal dan kuat. Hal ini terjadi karena ventrikel kanan hanya memompa darah ke paru-paru, sedangkan dinding ventrikel kiri lebih tebal untuk memompa darah ke seluruh tubuh.



Gambar 27. Ketebalan otot jantung tidak sama, ventrikel kiri lebih tebal dibandingkan ventrikel kanan

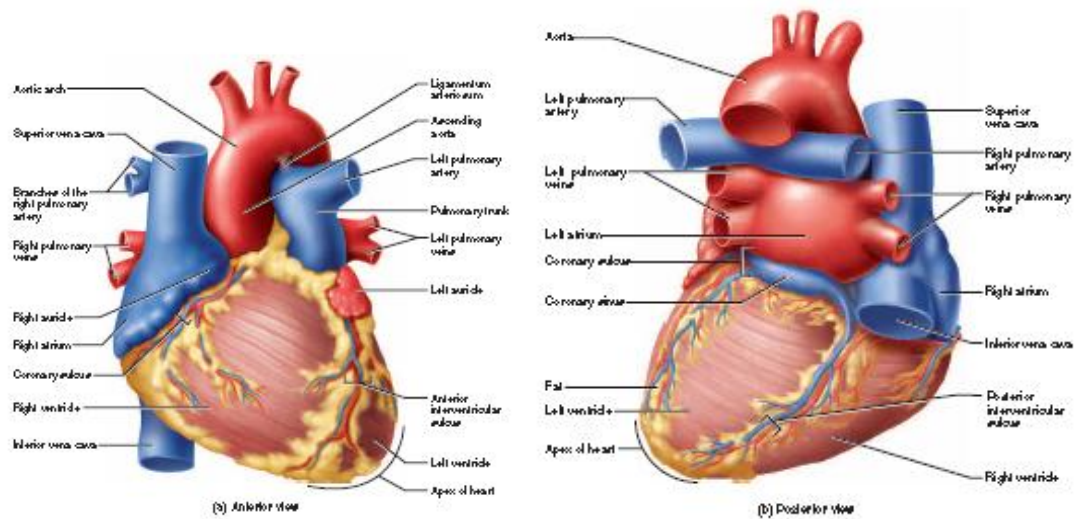
Jantung juga memiliki kerangka serat kolagen dan elastis yang membentuk kerangka berserat. Jaringan ini terutama terkonsentrasi di dinding antara bilik jantung, cincin fibrosa (Anuli fibrosi) sekitar katup, dan dalam lembaran jaringan yang menghubungkan cincin ini. Kerangka berserat memiliki beberapa fungsi: (1) Menyediakan dukungan struktural untuk jantung, terutama di sekitar katup dan bukaan pembuluh besar; menjaga lubang ini terbuka dan mencegah peregangan yang berlebihan ketika lonjakan aliran darah lonjakannya. (2) Sebagai nonkonduktor listrik yang berfungsi sebagai isolasi listrik antara atrium dan ventrikel, sehingga atrium tidak dapat merangsang ventrikel langsung. (3) Beberapa pihak berpikir bahwa elastisitas dari kerangka berserat dapat membantu dalam mengisi jantung dengan darah setiap denyut.

Ruang Jantung

Jantung memiliki empat ruang, Dua ruang di kutub superior (basis) jantung yaitu atrium kanan dan atrium kiri. Atrium berdinding tipis, menerima darah yang kembali ke jantung dari pembuluh darah besar. Sebagian besar massa masing-masing atrium adalah di sisi posterior jantung, sehingga hanya sebagian kecil terlihat dari pandangan anterior.

Dua ruang di bawah atrium adalah ventrikel kanan dan kiri. Ventrikel adalah pompa yang mengeluarkan darah ke dalam arteri agar tetap mengalir ke seluruh tubuh..

Di permukaan, batas-batas dari empat ruang ditandai oleh tiga sulci (alur), yang sebagian besar diisi oleh lemak dan pembuluh darah koroner.

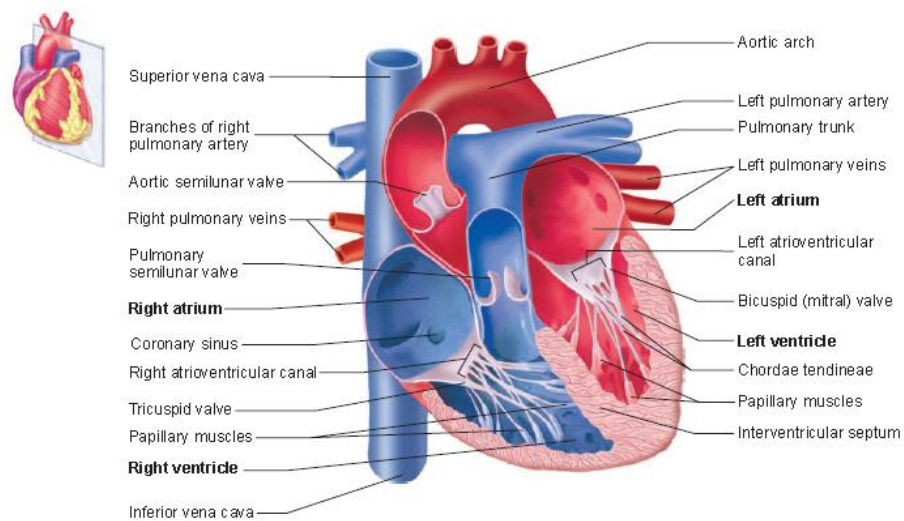


Gambar 28 Anatomi Permukaan Jantung (Saladin, 2009)

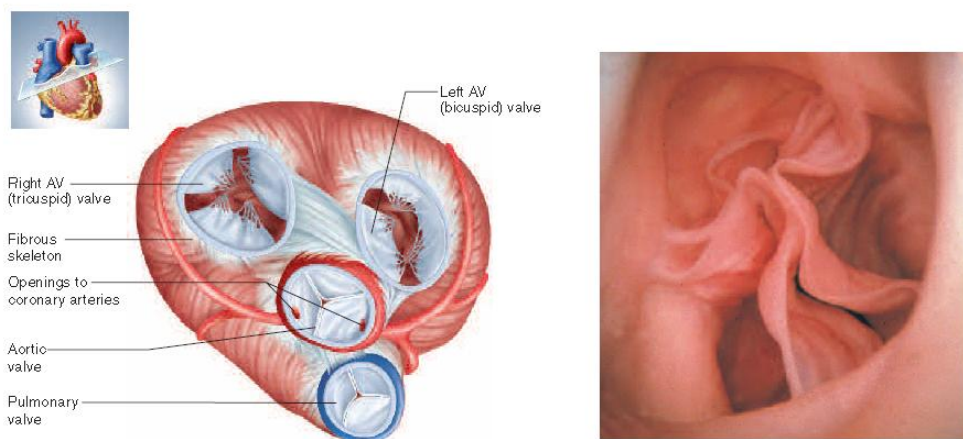
Katup Jantung

Seperti semua pompa, jantung mengandung katup yang memungkinkan darah mengalir hanya ke satu arah melalui jantung. Kedua jenis katup jantung adalah katup atrioventrikular (AV) dan katup semilunar. Atrioventricular merupakan katup antara atrium dan ventrikel. Katup terbentuk dari jaringan ikat fibrosa. Setiap katup memungkinkan darah mengalir dari atrium ke ventrikel tetapi mencegah aliran balik darah dari ventrikel ke atrium. Katup AV antara atrium kanan dan ventrikel kanan adalah katup trikuspid. Katup bikuspid atau mitral terletak antara atrium kiri dan ventrikel kiri. Katup AV berasal dari cincin tebal jaringan ikat fibrosa yang mendukung persimpangan ventrikel dengan atrium dan arteri besar yang melekat pada ventrikel. Jaringan fibrosa yang mendukung ini disebut kerangka berserat.

Katup semilunar terletak di basis arteri besar yang membawa darah dari ventrikel. Katup semilunar paru terletak di dasar batang paru, yang membentang dari ventrikel kanan. Katup semilunar aorta terletak di dasar aorta, yang membentang dari ventrikel kiri. Setiap katup semilunar terdiri dari tiga daun katup yang tersusun dari jaringan ikat fibrosa. Katup semilunar memungkinkan darah dipompa dari ventrikel ke arteri selama kontraksi ventrikel, tetapi katup ini mencegah aliran balik darah dari arteri ke ventrikel selama ventrikel relaksasi.



Gambar 29. Anatomi bagian dalam jantung (Seeley, 2007)

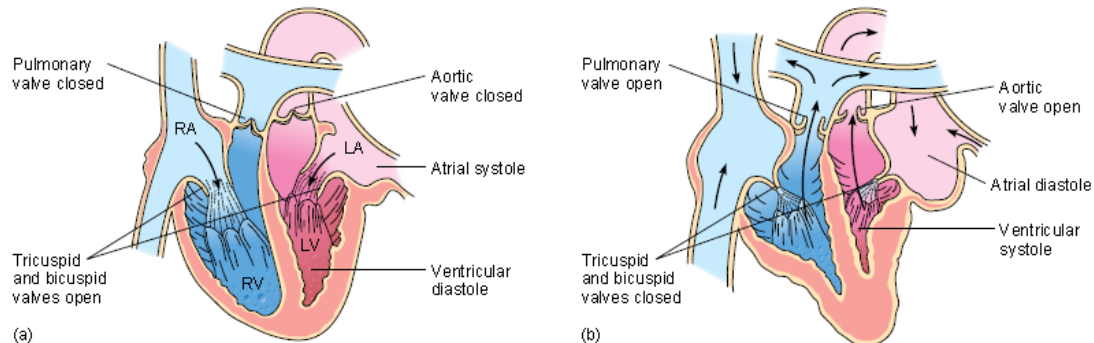


Gambar 30. Katup Jantung (Saladin 2009)

Siklus Jantung

Siklus jantung mencakup fase kontraksi dan relaksasi. fase Kontraksi dikenal sebagai sistol dan relaksasi disebut diastole. Fase-fase ini diilustrasikan pada Gambar 31. Ventrikel mengalami relaksasi ketika atrium berkontrak, dan atrium mengalami relaksasi ketika ventrikel berkontraksi. Ketika kedua atrium dan ventrikel relaksasi di antara denyutan, darah mengalir ke atrium dari vena besar yang mengarah ke jantung dan ke dalam ventrikel. Kemudian, atrium berkontraksi (atrial systole), memaksa lebih banyak darah ke dalam ventrikel sehingga dipenuhi darah. Segera setelah itu, terjadi kontraksi ventrikel. Ketika ventrikel mengalami sistol, tiba-tiba menghasilkan tekanan darah tinggi dalam ventrikel, dan tekanan darah ini menutup kedua katup atrioventrikular dan membuka kedua katup semilunar, darah dipompa ke dalam arteri yang menuju jantung, diikuti diastol pada ventrikel, memungkinkan katup atrioventrikular untuk membuka. Secara

bersamaan, katup semilunar dekat karena tekanan darah yang lebih besar dalam arteri. Siklus jantung kemudian diulang.



Gambar 31. Siklus Jantung (Stanley, 2009)

Suara Jantung

Suara detak jantung biasanya digambarkan sebagai lub-dup (jeda) lub-dup, dan seterusnya. Suara ini diproduksi oleh penutupan katup jantung. Suara pertama dihasilkan dari penutupan katup atrioventrikular selama sistol ventrikel. Suara kedua dihasilkan dari penutupan katup semilunar saat diastole ventrikel. Jika salah satu katup jantung rusak dan tidak menutup dengan benar terdengar suara tambahan yang dikenal sebagai murmur jantung.

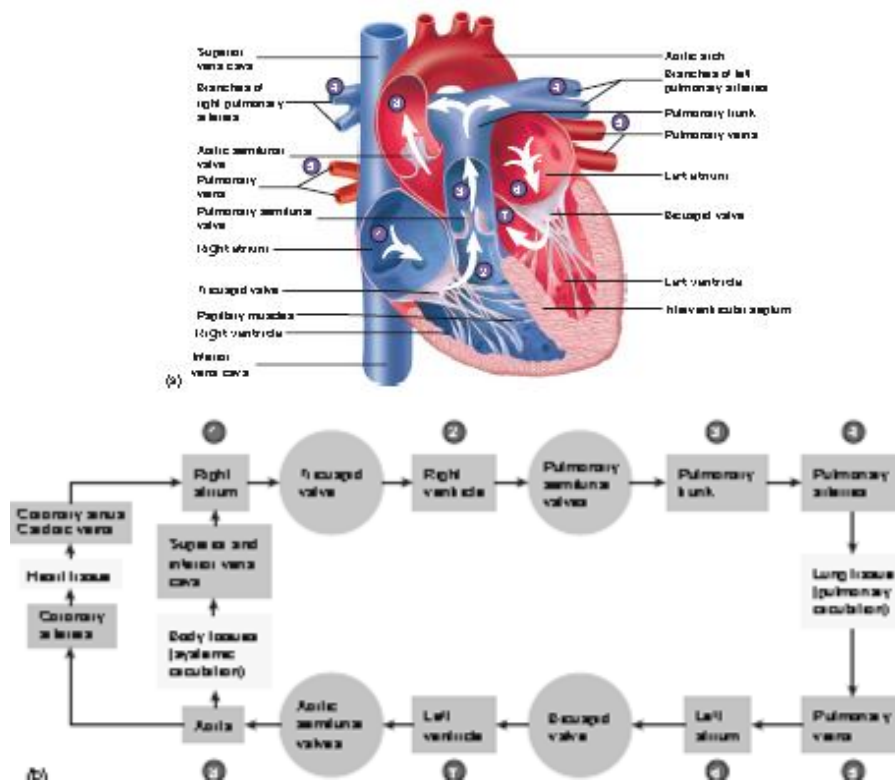
Aliran Darah yang melalui Jantung

Aliran darah melalui jantung digambarkan dalam gambar 32. Meskipun aliran darah melalui jantung dijelaskan dari kanan dan kemudian sisi kiri jantung, penting untuk dipahami bahwa kontraksi kedua atrium terjadi pada saat yang sama, dan kontraksi kedua ventrikel terjadi secara bersamaan. Konsep ini yang paling penting ketika aktivitas listrik, perubahan tekanan, dan suara jantung harus dipahami.

Darah memasuki atrium kanan dari sirkulasi sistemik melalui vena cava superior dan inferior, dan dari otot jantung melalui sinus koroner. Sebagian besar darah mengalir ke atrium kanan mengalir melalui katup trikuspid ke ventrikel kanan sedangkan ventrikel kanan berelaksasi mengikuti kontraksi sebelumnya. Atrium kanan kemudian berkontraksi, dan darah didorong dari atrium kanan ke ventrikel kanan dan mengisi ventrikel kanan. Setelah kontraksi atrium kanan, ventrikel kanan mulai berkontraksi. Kontraksi ventrikel kanan mendorong darah terhadap katup trikuspidalis sehingga ditutup.

Setelah tekanan di dalam ventrikel kanan meningkat, katup semilunar paru dipaksa terbuka, dan darah mengalir ke batang paru.

Cabang-cabang batang paru dari arteri paru, membawa darah ke paru-paru, di mana karbon dioksida dilepaskan dan oksigen dijemput. Darah kembali dari paru-paru memasuki atrium kiri melalui empat vena pulmonalis. Sebagian besar darah mengalir ke atrium kiri melewati katup bikuspid ke ventrikel kiri sedangkan ventrikel kiri bereaksi mengikuti kontraksi sebelumnya. Atrium kiri kemudian berkontraksi dan darah yang didorong dari atrium kiri ke ventrikel kiri untuk menyelesaikan pengisian ventrikel kiri. Setelah kontraksi atrium kiri, ventrikel kiri mulai berkontraksi. Kontraksi ventrikel kiri mendorong darah terhadap katup bikuspid, memaksa untuk ditutup. Setelah tekanan dalam ventrikel kiri meningkat, katup semilunar aorta dipaksa terbuka, dan darah mengalir ke aorta. Darah mengalir melalui aorta didistribusikan ke seluruh bagian tubuh, kecuali pada sebagian paru-paru yang disediakan oleh pembuluh darah paru.



Gambar 32 Aliran Darah yang Melalui Jantung (Seeley *et al.*, 2007)

UJI KEMAMPUANMU

1. Mengapa dinding ventrikel kanan lebih tebal dibandingkan ventrikel kiri?
2. Apakah fungsi pericardium?
3. Sebutkan 3 lapisan yang menyusun jantung?

PEMBULUH DARAH**Capaian Pembelajaran**

Setelah mempelajari bagian ini mahasiswa diharapkan mampu:

- Mendeskripsikan struktur dan fungsi pembuluh darah
- membedakan pembuluh darah arteri, vena dan kapiler

Rute yang diambil oleh darah setelah meninggalkan jantung memberikan kebingungan selama berabad-abad. Kaisar Cina Huang Ti (2697-2597 SM) percaya bahwa darah mengalir sekaligus ke seluruh tubuh dan kembali ke jantung. Namun pada abad kedua, dokter Romawi Claudius Galen (129-c. 199) berpendapat bahwa darah mengalir bolak-balik di pembuluh darah, seperti udara di tabung bronkial. Seiring berkembangnya waktu, alat-alat banyak hal terungkap berkaitan dengan pembuluh darah dan aliran darah

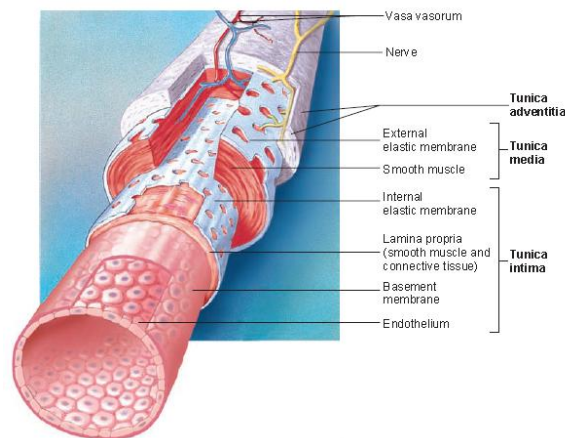
STRUKTUR PEMBULUH DARAH**Dinding Pembuluh Darah**

Dinding arteri dan vena terdiri dari tiga lapisan, yaitu:

1. Tunika interna (tunika intima) lapisan bagian dalam pembuluh darah yang terdiri dari epitel skuamosa sederhana yang disebut endotelium yang terletak di atas membran basal dan lapisan tipis jaringan ikat. Endotelium bertindak sebagai penghalang selektif permeabel untuk bahan yang akan memasuki atau meninggalkan aliran darah; mengeluarkan bahan kimia yang merangsang pelebaran atau penyempitan kapal; dan biasanya menolak sel darah dan trombosit sehingga mereka mengalir bebas tanpa menempel pada dinding pembuluh darah. Ketika endotelium rusak, trombosi membentuk gumpalan darah; dan ketika jaringan di sekitar pembuluh darah mengalami peradangan, sel-sel endotel menghasilkan molekul sel-adhesi yang menyebabkan leukosit untuk

memenuhi permukaan. Hal ini menyebabkan leukosit berkumpul di jaringan untuk tindakan pertahanan yang dibutuhkan.

2. Tunika media, lapisan tengah, biasanya paling tebal. Ini terdiri dari otot polos, kolagen, dan dalam beberapa kasus, jaringan elastis. Jumlah otot polos dan jaringan elastik bervariasi antara pembuluh darah yang satu dengan yang lain. Tunika media memperkuat pembuluh dan mencegah tekanan darah pecah, menyediakan vasomotion, perubahan dalam diameter pembuluh darah.
3. Tunika externa (tunika adventitia) adalah lapisan terluar. Ini terdiri dari jaringan ikat longgar yang sering menyatu dengan pembuluh darah, saraf, atau organ lain sekitarnya.



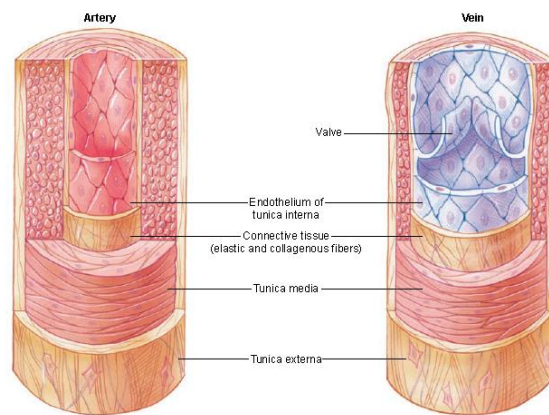
Gambar 33. Struktur Dinding Pembuluh Darah (Seeley *et al*, 2007)

Jenis Pembuluh Darah

Terdapat tiga jenis pembuluh darah arteri, kapiler, dan vena. Mereka membentuk sistem tertutup berbentuk tabung yang membawa darah dari jantung ke sel-sel tubuh dan kembali ke jantung. Tabel 5 menunjukkan perbandingan di antara pembuluh darah.

Tabel 5. Perbandingan antara Vena, Arteri, dan kapiler

Tipe Pembuluh Darah	Fungsi	Struktur
Vena	Membawa darah dari kapiler di seluruh tubuh ke jantung	Dinding tipis, banyak terdapat katup mencegah darah kembali
Arteri	Membawa darah dari jantung ke kapiler di seluruh tubuh	Dinding tebal untuk menahan tekanan darah
Kapiler	Pertukaran materi antara pembuluh darah dan jaringan	Ukuran kecil/ mikroskopis, tersusun dari satu lapisan endotelium



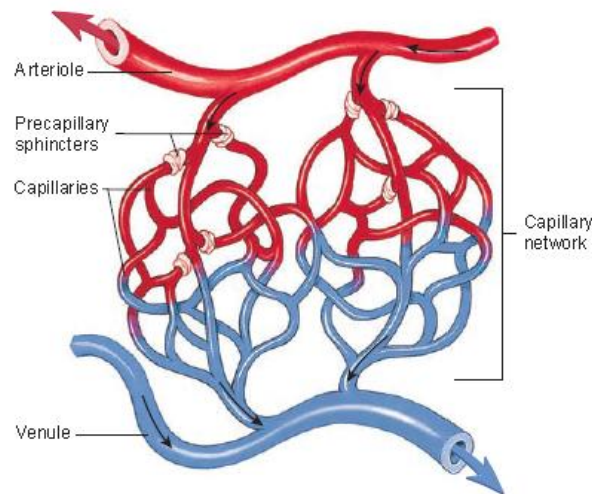
Gambar 34. Perbandingan Dinding arteri dan Vena (Stanley,2009)

Arteri

Arteri membawa darah dari jantung. Arteri bercabang berulang kali menjadi lebih kecil dan arteri yang paling kecil akhirnya membentuk arteri mikroskopis yang disebut arteriol. cabang-cabang arteri (arteriol), ketebalan lapisan ototnya berkurang. Dinding arteriol terkecil hanya terdiri dari endotelium dan beberapa serat otot polos yang mengelilinginya. Arteri, terutama arteriol, memainkan peran penting dalam mengendalikan aliran darah dan tekanan darah.

Kapiler

Arteriол terhubung dengan kapiler, pembuluh darah paling banyak dan paling kecil. Diameter sebuah kapiler sangat kecil sehingga eriyrosit harus melewatinya dalam file tunggal. Dinding kapiler hanya terdiri dari endotelium, yang memungkinkan pertukaran bahan antara darah di kapiler dan sel-sel tubuh. Distribusi kapiler dalam jaringan tubuh bervariasi dengan aktivitas metabolik dari setiap jaringan. Kapiler terutama melimpah di jaringan aktif, seperti jaringan otot dan saraf, di mana hampir setiap sel dekat dengan kapiler. Kapiler kurang melimpah di jaringan ikat, dan mereka tidak hadir di beberapa jaringan, seperti tulang rawan, epidermis, dan lensa dan kornea mata.



Gambar 35. Jaringan kapiler (Seeley, 2009)

Aliran darah dalam kapiler dikendalikan oleh otot sfingter prekapiler yang berupa serat otot polos yang melingkari dasar kapiler di persimpangan arteri-kapiler. Kontraksi sfingter prekapiler menghambat aliran darah ke jaringan kapiler tersebut. Relaksasi sfingter memungkinkan darah mengalir ke dalam jaringan kapiler untuk menyediakan oksigen dan nutrisi untuk sel-sel jaringan. Ketika beberapa jaringan kapiler diisi dengan darah, yang lain tidak. Jaringan kapiler menerima darah sesuai dengan kebutuhan sel-sel yang mereka layani. Sebagai contoh, selama latihan fisik darah dialihkan dari jaringan kapiler dalam saluran pencernaan untuk mengisi jaringan kapiler di otot rangka. Pola distribusi darah sebagian besar terbalik setelah makan.

Pertukaran Bahan

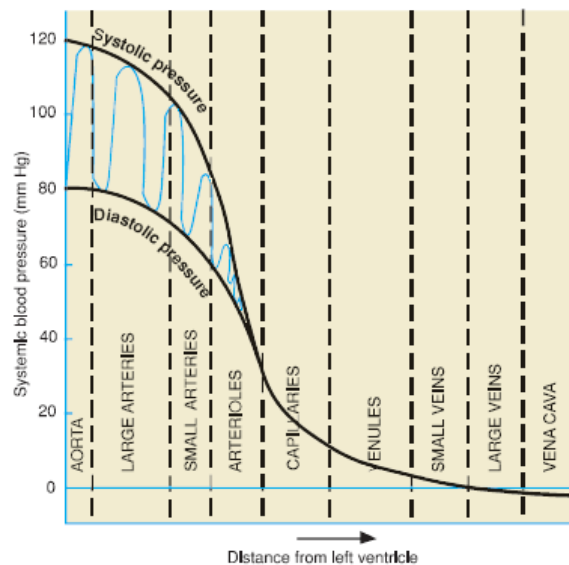
Pertukaran yang terus-menerus bahan antara darah dan jaringan sel sangat penting bagi kehidupan. Sel membutuhkan oksigen dan nutrisi untuk melakukan fungsi metabolisme mereka, dan mereka menghasilkan karbon dioksida dan limbah metabolik lainnya yang harus dikeluarkan oleh darah. Sel-sel jaringan yang diselubungi lapisan tipis cairan ekstraseluler yang disebut cairan interstitial, atau cairan jaringan, yang mengisi ruang jaringan dan terletak di antara sel jaringan dan kapiler. Oleh karena itu, semua bahan yang lolos antara darah dan jaringan sel harus melewati cairan interstitial. Zat terlarut seperti oksigen dan nutrisi dari darah berdifusi dalam kapiler ke dalam cairan interstitial dan dari cairan interstitial ke dalam sel-sel tubuh. Karbon dioksida dan limbah metabolik berdifusi ke arah yang berlawanan.

Vena

Setelah darah mengalir melalui kapiler, memasuki venula, vena terkecil. Beberapa kapiler bergabung membentuk venula. Venula terkecil hanya terdiri dari endotelium dan jaringan ikat, tetapi venula yang lebih besar juga mengandung jaringan otot polos. Venula bersatu untuk membentuk pembuluh darah kecil. Vena kecil bergabung membentuk vena semakin besar seperti darah dikembalikan ke jantung. Vena yang lebih besar, terutama di kaki dan tangan, mengandung katup yang mencegah aliran balik darah dan membantu kembalinya darah ke jantung. Karena hampir 60% dari volume darah berada dalam pembuluh darah, vena dapat dianggap sebagai area penyimpanan darah yang dapat dibawa ke bagian lain dari tubuh pada saat dibutuhkan. Sinusoid vena di hati dan limpa sangat penting. Jika darah hilang oleh perdarahan, baik volume darah maupun tekanan darah mengalami penurunan. Sebagai tanggapan hal tersebut, sistem saraf simpatik mengirimkan impuls untuk mengerut dinding otot pembuluh darah, yang mengurangi volume vena dan mengkompensasi kehilangan darah. Sebuah respon yang sama terjadi selama aktivitas otot berat untuk meningkatkan aliran darah ke otot rangka.

Aliran Darah

Darah beredar karena perbedaan tekanan darah. Darah mengalir dari daerah tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Tekanan darah adalah terbesar dalam ventrikel dan terendah di atrium. Gambar 36. menunjukkan penurunan tekanan darah dalam rangkaian sistemik dengan peningkatan jarak dari ventrikel kiri. Kontraksi ventrikel menciptakan tekanan darah yang mendorong darah melalui arteri. Namun, tekanan menurun sebagai di yang lebih kecil hingga ke kapiler. Penurunan tekanan darah terjadi karena luas penampang keseluruhan arteri gabungan sangat meningkat seiring dengan banyaknya percabangan arteri. Saat darah meninggalkan kapiler dan memasuki vena, ada tekanan darah yang sangat sedikit yang tersisa untuk kembali darah ke jantung. Kembalinya darah vena dibantu oleh tiga kekuatan tambahan: kontraksi otot skeletal, gerakan pernapasan, dan gravitasi. Kontraksi dari otot rangka menekan pembuluh darah, memaksa darah mengalir dari satu segmen ke segmen yang lain dan menuju jantung karena katup mencegah aliran balik darah. Metode pergerakan tersebut terjadi di pembuluh darah vena menuju jantung sangat pentinglah terutama untuk mengalirkan darah dari lengan dan kaki ke jantung.



Gambar 36. Tekanan Darah menurun seiring menjauhnya pembuluh darah dari ventrikel kiri (Seeley, 2009)

Kecepatan Aliran Darah

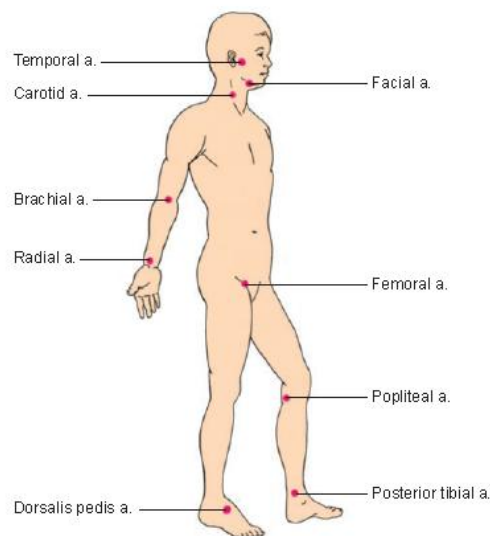
Kecepatan aliran darah berbanding terbalik dengan luas penampang keseluruhan pembuluh darah. Oleh karena itu, kecepatan semakin menurun seiring meningkatnya jumlah pembuluh darah arteri sampai di kapiler. Kecepatan semakin meningkat pada vena dalam perjalanan membawa darah kembali ke jantung.

Aliran darah yang tercepat di aorta dan paling lambat dalam kapiler, situasi yang ideal menyediakan sirkulasi darah yang cepat dan waktu yang cukup untuk pertukaran bahan antara darah di kapiler dan sel-sel jaringan.

Tekanan darah

Tekanan darah merujuk kepada tekanan yang dialami darah pada pembuluh arteri darah ketika darah di pompa oleh jantung ke seluruh anggota tubuh manusia. Tekanan darah dibuat dengan mengambil dua ukuran dan biasanya diukur seperti berikut 120 /80 mmHg. Nomor atas (120) menunjukkan tekanan ke atas pembuluh arteri akibat denyutan jantung, dan disebut tekanan sistole. Nomor bawah (80) menunjukkan tekanan saat jantung beristirahat di antara pemompaan, dan disebut tekanan diastole. Saat yang paling baik untuk mengukur tekanan darah adalah saat istirahat dan dalam keadaan duduk atau berbaring. Tekanan darah dalam kehidupan seseorang bervariasi secara alami. Bayi dan anak-anak secara normal memiliki tekanan darah yang jauh lebih

rendah daripada dewasa. Tekanan darah juga dipengaruhi oleh aktivitas fisik, dimana akan lebih tinggi pada saat melakukan aktivitas dan lebih rendah ketika beristirahat. Tekanan darah dalam satu hari juga berbeda; paling tinggi di waktu pagi hari dan paling rendah pada saat tidur malam hari. Bila tekanan darah diketahui lebih tinggi dari biasanya secara berkelanjutan, orang itu dikatakan mengalami masalah darah tinggi. Penderita darah tinggi mesti sekurang-kurangnya mempunyai tiga bacaan tekanan darah yang melebihi 140/90 mmHg saat istirahat.



Gambar 37. Lokasi dan arteri di mana denyut nadi dapat dideteksi. (a.= arteri) (Seeley, 2009)

GANGGUAN PADA JANTUNG DAN PEMBULUH DARAH

Penyakit jantung adalah sebuah kondisi yang menyebabkan Jantung tidak dapat melaksanakan tugasnya dengan baik. Hal-hal tersebut antara lain:

Otot jantung yang lemah.

Penyakit ini adalah kelainan bawaan sejak lahir. Otot jantung yang lemah membuat penderita tak dapat melakukan aktivitas yang berlebihan, karena pemaksaan kinerja jantung yang berlebihan akan menimbulkan rasa sakit di bagian dada, dan kadangkala dapat menyebabkan tubuh menjadi nampak kebiru-biruan. Penderita lemah otot jantung ini mudah pingsan.

Jantung Bocor

Adanya celah antara serambi kanan dan serambi kiri, oleh karena tidak sempurnanya pembentukan lapisan yang memisahkan antara kedua serambi saat penderita masih di dalam kandungan. Hal ini menyebabkan darah bersih dan darah kotor tercampur. Penyakit ini juga membuat penderita tidak dapat melakukan aktivitas yang berat, karena aktivitas yang berat hampir dapat dipastikan akan membuat tubuh penderita menjadi biru dan sesak nafas, walaupun tidak menyebabkan rasa sakit di dada.

Serangan jantung

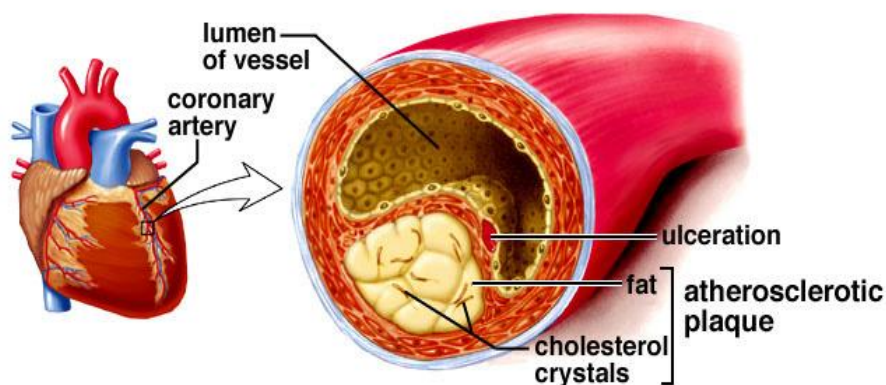
Serangan jantung adalah sebuah kondisi yang menyebabkan jantung sama sekali tidak berfungsi. Kondisi ini biasanya terjadi mendadak, dan sering disebut gagal jantung. Penyebab gagal jantung bervariasi, namun penyebab utamanya biasanya adalah terhambatnya suplai darah ke otot-otot jantung, oleh karena pembuluh-pembuluh darah yang biasanya mengalirkan darah ke otot-otot jantung tersebut tersumbat atau mengeras, entah oleh karena kolesterol, ataupun oleh karena zat-zat kimia seperti penggunaan obat yang berlebihan yang mengandung Phenol Propano Alanin (ppa) yang banyak ditemui dalam obat-obat seperti Decolgen, dan nikotin.

Atherosclerosis

akumulasi lemak kolesterol pada dinding pembuluh darah

Stroke

Pecahnya pembuluh darah di otak sehingga otak kekurangan oksigen bisa menyebabkan kelumpuhan dan kematian



Gambar 37. Penyempitan pembuluh darah akibat penumpukan kolesterol

UJI KEMAMPUANMU

1. Bandingkan antara pembuluh darah arteri, vena, dan kapiler!
2. Apa yang dimaksud dengan tekanan darah?

RANGKUMAN**Fungsi Darah**

1. Darah mengangkut gas, nutrisi, produk-produk limbah, dan hormon.
2. Darah yang terlibat dalam regulasi homeostasis dan pemeliharaan pH, suhu tubuh, keseimbangan cairan, dan kadar elektrolit.
3. Darah melindungi terhadap penyakit dan kehilangan darah

Komposisi Darah

Darah adalah jaringan mengandung sel dan fragmen sel. Secara kolektif, sel-sel dan fragmen sel disebut elemen padat terdiri atas eritrosit, leukosit, trombosit). Sel dan fragmen sel tersuspensi dalam cairan plasma.

Plasma

1. Plasma sebagian besar tersusun air, mengandung protein, seperti albumin (mempertahankan tekanan osmotik), globulin (berfungsi dalam transportasi dan kekebalan), fibrinogen (yang terlibat dalam pembekuan darah), dan hormon dan enzim (yang terlibat dalam regulasi).
2. Plasma mengandung ion, nutrisi, produk-produk limbah, dan gas.

Eritrosit

1. Eritrosit, atau sel darah merah, berbentuk bikonkaf, tidak memiliki inti dan mengandung sejumlah besar hemoglobin. Fungsi utama eritrosit adalah transportasi oksigen.
2. Hemoglobin terdiri dari heme, suatu pigmen yang mengandung besi, dan globin, protein. Hal ini memainkan peran penting dalam transportasi oksigen dan berpartisipasi dalam transportasi karbon dioksida.

3. Eritrosit sangat melimpah dalam darah. Jumlah eritrosit 4.500.000-6.200.000 per mm³ pada laki-laki dan 4.200.000-5.400.000 per mm³ pada wanita.
4. Eritrosit dibentuk dari hemocytoblasts di sumsum tulang merah. Tingkat produksi dikendalikan oleh konsentrasi oksigen dari darah melalui mekanisme umpan balik negatif. Konsentrasi oksigen menurun merangsang sel-sel ginjal untuk melepaskan erythropoietin, yang merangsang peningkatan produksi sel darah merah oleh sumsum tulang merah.
5. Besi, asam amino, vitamin B12, dan asam folat yang penting untuk produksi eritrosit.
6. Eritrosit hidup sekitar 120 hari sebelum mereka hancur oleh makrofag di limpa dan hati.

Leukosit

1. Sel darah putih melindungi tubuh terhadap mikroorganisme dan mengangkat sel mati dan puing-puing.
2. Lima jenis sel darah putih yang ada.
 - Neutrofil adalah sel fagosit kecil.
 - Eosinofil mengurangi peradangan.
 - Basofil melepaskan histamin dan terlibat dengan meningkatkan respon inflamasi.
 - Limfosit penting dalam imunitas, termasuk produksi antibodi.
 - Monosit meninggalkan darah, masukkan jaringan, dan menjadi sel besar bersifat fagosit yang disebut makrofag.

Trombosit

1. Trombosit merupakan fragmen dari sel megakaryocytes dalam sumsum tulang merah. jumlahnya sekitar 150.000 menjadi 400.000 per / mm³ darah
2. Trombosit berperan dalam pembekuan darah

Homeostasis

1. Hemostasis adalah penghentian perdarahan. Ini terdiri dari tiga proses: penyempitan pembuluh darah, pembentukan sumbat trombosit, dan pembekuan darah.
2. Penyempitan pembuluh darah adalah proses pertama dalam hemostasis. Ini mengurangi kehilangan darah sampai proses lain dapat terjadi.
3. Trombosit menempel pada jaringan yang rusak dan satu sama lain untuk membentuk sumbat trombosit.
4. Trombosit dan jaringan yang rusak memulai pembentukan bekuan dengan melepaskan tromboplastin, yang menyebabkan pembentukan protrombin aktivator.

Aktivator protrombin aktivator mengubah protrombin menjadi trombin, yang, pada gilirannya, mengubah fibrinogen menjadi fibrin. Benang fibrin membentuk bekuan.

Penggolongan Darah

1. Golongan darah ditentukan oleh antigen pada permukaan eritrosit.
2. Antibodi dapat mengikat antigen eritrosit, yang mengakibatkan aglutinasi dan hemolisis sel darah merah.
3. Golongan darah A memiliki antigen A, golongan darah B darah memiliki antigen B, tipe AB darah memiliki antigen A dan B, dan golongan darah O tidak memiliki antigen A atau B.
4. Darah Rh-positif memiliki antigen Rh tertentu (antigen D), sedangkan darah Rh-negatif tidak.
5. Antibodi terhadap antigen Rh diproduksi oleh orang Rh-negatif ketika orang terkena darah Rh-positif.
6. Rh golongan darah bertanggung jawab untuk penyakit hemolitik pada bayi baru lahir.

Struktur Jantung

1. Jantung diselubungi oleh membran perikardial, yang memberikan perlindungan dan dukungan.
2. dinding jantung terutama terdiri dari miokardium, lapisan tebal otot jantung, yang terdapat di antara endokardium tipis di dalam dan epikardium tipis di luar.
3. Jantung berisi empat kamar. Ruang atas terdiri atas atrium kiri dan kanan, yang menerima darah kembali ke jantung. Ruang bawah adalah ventrikel kiri dan kanan, yang memompa darah dari jantung. Tidak ada bukaan antara atrium atau antara ventrikel.
4. Atrioventricular katup memungkinkan darah mengalir antara masing-masing atrium dan ventrikel tetapi mencegah aliran balik darah. Katup AV bikuspid terletak di antara atrium kiri dan ventrikel kiri. Katup AV trikuspid terletak di antara atrium kanan dan ventrikel kanan.
5. semilunar katup memungkinkan darah dipompa dari ventrikel ke arteri yang terkait. Katup semilunar aorta terletak di dasar aorta. Katup semilunar paru terletak di dasar batang paru.

Siklus jantung

1. Siklus jantung mencakup tahap kontraksi (sistole) dan relaksasi (diastole).
2. Selama diastole atrial, darah kembali ke atrium dan mengalir ke dalam ventrikel.

3. Selama diastol ventrikel, darah mengalir ke ventrikel. Sistol ventrikel memompa darah dari ventrikel ke arteri terkait.
4. lub-dup suara jantung normal disebabkan oleh penutupan katup jantung. Hasil suara pertama dari penutupan katup atrioventrikular. Hasil suara kedua dari penutupan katup semilunar.
5. atrium kanan menerima darah terdeoksigenasi dari superior dan inferior vena kava, sedangkan atrium kiri menerima darah beroksigen dari pembuluh darah paru.
6. ventrikel kanan memompa darah terdeoksigenasi ke paru. Pada saat yang sama, ventrikel kiri memompa darah beroksigen ke dalam aorta, yang mengarah ke seluruh bagian tubuh kecuali paru-paru.
7. jaringan jantung menerima darah dari arteri koroner. Darah kembali dari jaringan jantung melalui vena jantung, yang membuka ke dalam sinus koroner, yang mengarah ke atrium kanan.

Jenis Pembuluh Darah

1. Tiga tipe dasar dari pembuluh darah arteri, kapiler, dan vena. Arteri dan vena besar terbentuk dari lapisan fibrosa luar jaringan ikat, lapisan tengah otot polos, dan lapisan dalam dari epitel skuamosa sederhana.
2. Arteri memiliki dinding otot tebal dan membawa darah dari jantung. Arteri besar membagi berulang kali untuk membentuk arteri terkecil, arteriol, yang terhubung dengan kapiler.
3. Kapiler adalah pembuluh darah terkecil dan paling banyak. Dinding tipis mereka sel endotel memungkinkan pertukaran bahan antara darah dan cairan interstitial. Molekul terlarut dipertukarkan oleh difusi.
4. Vena memiliki dinding lebih tipis dari arteri dan membawa darah dari kapiler menuju jantung. Vena terkecil adalah venula, yang membawa darah dari kapiler dan bergabung untuk membentuk vena kecil. Vena berisi katup yang mencegah aliran balik darah.

Aliran Darah

1. Darah beredar dari daerah tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Tekanan darah adalah tertinggi di ventrikel dan terendah di atrium.
2. Tekanan darah sistemik menurun saat darah dibawa ke kapiler. Kontraksi otot rangka dan gerakan pernapasan adalah kekuatan penting yang membantu kembalinya darah vena.

- Kecepatan Darah berbanding terbalik dengan luas penampang seluruh pembuluh darah . Kecepatan darah tertinggi di aorta dan terendah di kapiler.

Tekanan Darah

- Optimal tekanan darah sistolik adalah 115 mmHg. Tekanan darah diastolik yang optimal adalah 75 mmHg.
- Perbedaan antara tekanan sistolik dan diastolik adalah tekanan nadi. Denyut nadi dapat dideteksi oleh arteri permukaan palpasi.
- Tekanan darah ditentukan oleh empat faktor: curah jantung, volume darah, resistensi perifer, dan viskositas darah.

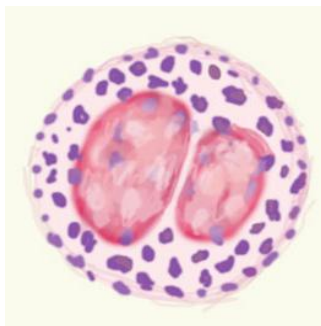
TES REVIU

- Hasil laboratorium Nyonya Ria terlihat pada tabel berikut ini:

Komponen sel	Jumlah sel per mm ³	Hasil Lab.
Eritrosit	4 - 5 juta/ mm ³	3 juta/ mm ³
Leukosit	5 – 10 ribu/ mm ³	8.000/ mm ³
Trombosit	150.000 – 350.000/mm ³	300.000/mm ³

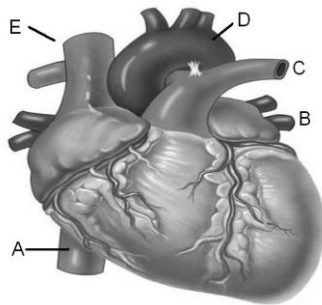
Dari hasil laboratorium, Nyonya Ria diduga menderita penyakit....

- Anemia
- Leukimia
- talasemia
- Demam berdarah
- hemofilia



- Amati gambar di atas, fungsi sel yang terdapat pada gambar di samping adalah...
 - pertahanan pertama pada invasi bakteri
 - menyerang parasit internal seperti cacing
 - menghasilkan heparin dan histamin
 - menghasilkan antibodi yang beredar dalam darah
 - membentuk makrofag
- Seseorang mempunyai golongan darah B, ditransfusi dengan darah seseorang yang bergolongan darah O, maka
 - terjadi aglutinasi, karena darah donor mengandung aglutinin α dan β , darah resipien mengandung aglutinin α
 - terjadi aglutinasi karena darah resipien mengandung aglutinin α dan β
 - tidak akan terjadi aglutinasi karena darah resipien tidak mengandung α dan β
 - tidak akan terjadi aglutinasi karena donor dan resipien masing-masing mengandung aglutinogen β

- e. tidak akan terjadi aglutinasi karena darah donor tidak mengandung aglutinogen
- 4.



Amati gambar di samping, pembuluh darah yang meninggalkan jantung membawa darah yang mengandung O_2 ditunjuk oleh huruf....

- a. A c. C e. E
b. B d. D

5. Pernyataan **yang salah** tentang **Leukosit** adalah....
- Leukosit merupakan sel darah yang paling sedikit jumlahnya
 - Leukosit tidak memiliki Hb, sehingga tidak berwarna
 - Berperan membersihkan sampah tubuh yang berasal dari sel yang mati atau cedera
 - mengandung aktin dan miosin dalam konsentrasi tinggi sehingga dapat berkontraksi
 - di produksi dalam sumsum tulang merah dan jaringan limfoid
6. Perhatikan skema proses pembekuan darah berikut!
- ```

Trombosit pecah → (1)
 ↙
Protrombin → (2)
 ↘
Fibrinogen → (3)

```
- Urutan yang benar untuk nomor (1), (2) dan (3) adalah .....
- tromboplastin, thrombin dan fibrin
  - trombin, fibrin dan tromboplastin
  - tromboplastin, fibrin dan thrombin
  - trombin, tromboplastine dan fibrin
  - fibrin, tromboplastin dan thrombin
7. Seseorang dengan **golongan darah AB**
- memproduksi antibodi terhadap antigen A dan B.
  - Tidak memproduksi antigen A dan B
  - Dianggap sebagai donor universal
  - Dianggap sebagai resipien universal
  - Adalah Rh positif
8. pernyataan **yang salah** tentang eritosit:
- mengangkut oksigen karena memiliki haemoglobin
  - eritrosit tidak mempunyai nucleus dan organel lainnya
  - Usia eritrosit hanya mampu bertahan selama 120 hari
  - Eritrosit dihancurkan di limfa
  - Mengandung protein darah, yaitu albumin dan fibrinogen
9. Katup yang terletak di antara **atrium kiri dan ventrikel kiri** disebut...
- katup trikuspidalis
  - katup paru-paru
  - katup bikuspidalis
  - katup aorta
  - katup semilunaris

**Jawablah**

Sistem sirkulasi berperan dalam homeostatis dengan berfungsi sebagai sistem transportasi tubuh dengan mengangkut oksigen, karbondioksida, zat-zat sisa, elektrolit, nutrisi dan hormon dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain. Sistem sirkulasi dibangun oleh darah, jantung, dan pembuluh darah.

1. Mengapa erosit berbentuk bikonkaf dan berdinding tipis?
2. Apa yang akan terjadi jika protein plasma jumlahnya berkurang?
3. Mengapa orang yang bergolongan darah A tidak bisa mendonorkan darahnya pada orang bergolongan darah B?
4. Mengapa lapisan miokardium pada ventrikel kiri jantung lebih tebal dibandingkan ventrikel kanan?
5. Jelaskan bagaimana proses perombakan haemoglobin!



**DAFTAR PUSTAKA**

- Goodenough, J. McGuire, B. (2012). *Biology of Humans, Concept, Application and Issue*. Fourth Edition. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Johnson, M.D. (2012). *Human Biology Concept and Current Issue*. sixth Edition. Boston: Benjamin Cummings
- Mader, S.S. and Windelspecht, M. (2011). *Human Biology*. Tenth Edition. New York: The McGrawHill Company.
- Mader, S. (2004). *Understanding Human Anatomy and Physiology*. Fifth Edition. New York: The McGrawHill Company.
- Martini, F.H. Nath, J.L. Bartholomew, E.F. (2012) *Fundamental Anatomy Physiology*. Ninth Edition. Boston: Benjamin Cummings.
- Rizzo, D. (2009) *Fundamental of Anatomy Physiology*. third edition. New York: Delmar Cengage Learning.
- Saladin, K. (2009). *Anatomy and Physiology: The Unity of Form, and Function* 5th Edition. New York: McGraw Hill Company.
- Seeley, R.R. Stephens, T.D. Tate P. (2007). *Anatomy and Physiology*. Eight Edition. Boston: McGraw Hill Company.
- Shear, Butler, Lewis. (2001). *Human Anatomy and Physiology*. New York: The McGraw Hill Company.
- Stanley, E. G. (2009). *Anatomy & Physiology with Integrated Guide*. Boston: McGraw Hill Education.

